

ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту рівня вищої освіти «Бакалавр»
на тему:

**Реконструкція процесу приготування комбікорму
з удосконаленням преса-гранулятора**

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу, групи АІ-1-22
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Олійник Дмитро Миколайович

Керівник: _____ Дудін Володимир Юрійович

Рецензент: _____

Дніпро 2026

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем
Рівень вищої освіти: «Бакалавр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
інжинірингу технічних систем
(назва кафедри)
ДОЦЕНТ
(вчене звання)
Дудін В.Ю.
(підпис) (прізвище, ініціали)
«05» травня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Олійник Дмитро Миколайович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Реконструкція процесу приготування комбікорму з удосконаленням преса-гранулятора

керівник проєкту Дудін Володимир Юрійович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«05» травня 2026 року № 912

2. Строк подання здобувачем проєкту 07.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту: Аналіз стану питання процесів та обладнання для приготування комбікорму. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд технологій приготування комбікормів. 2. Удосконалення процесу приготування повнораціонних комбікормів. 3. Удосконалення преса-гранулятора з кільцевою матрицею. 4. Охорона праці. 5. Економічна оцінка. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Технологічна схема процесу приготування комбікорму. 2. Кінематична схема. 3. Електрична схема. 4. Прес-гранулятор. 5. Секція пресування. 6. Вал. 7. Вал -шестерня. 8. Муфта. 9. Охорона праці. 10. Техніко-економічні показники.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Дудін В.Ю., доцент		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 05.05.2026 р._____.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.04.2026 р.	
2	Теоретичний	до 15.04.2026 р.	
3	Експериментальний	до 30.04.2026 р.	
4	Охорона праці	до 10.05.2026 р.	
5	Економічний	до 22.05.2026р.	
6	Демонстраційна частина	до 05.06.2026 р.	

Здобувач

(підпис)

Олійник Д.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту

(підпис)

Дудін В.Ю.

(прізвище та ініціали)

п/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Номер аркуша	Примітка
			<u>Текстові документи</u>			
1	A4	46ДП132.000.000П	Пояснювальна записка	73		
			<u>Графічні матеріали</u>			
2	A1	46ДП132.001.000ТХ	Технологічна схема процесу приготування	1	1	
3	A2	46ДП132.001.000К	Кінематична схема	1	2	
4	A2	46ДП132.001.000Е	Електрична схема	1	2	
5	A1	46ДП132.000.000В	Прес-гранулятор	1	3	
6	A1	46ДП132.001.000С	Секція пресування	1	4	
7	A3	46ДП132.001.001	Вал	1	5	
8	A3	46ДП132.001.007	Вал -шестерня	1	6	
9	A2	46ДП132.001.400С	Муфта	1	6	
1	A1	46ДП132..000.000О	Охорона праці	1	6	
1	A1	46ДП132.000.000Е	Техніко-економічні по-	1	7	
				46ДП132.000.000ПЗ		
3	Арк.	№ докум.	Підп.	Дат	Відомість дипломного проекту	
Розро-	Олійник					
Переві-	Дудін					
Т. контр						
Н.	Івлєв					
Затв.	Дудін				ДДАЕУ, АІ-1-22	

АНОТАЦІЯ

Булах Н.О. Реконструкція процесу приготування комбікорму з удосконаленням преса-гранулятора / Дипломний проєкт на здобуття ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

У роботі виконано огляд технологій приготування комбікормів, проаналізовано види комбікормової продукції та вимоги до її якості. Обґрунтовано доцільність використання гранульованих комбікормів для годівлі свиней і птиці. Розроблено удосконалену технологічну схему приготування повнораціонного гранульованого комбікорму на базі цеху з виробництва розсипного комбікорму, визначено продуктивність процесу та склад технічних засобів для його реалізації.

Проаналізовано існуючі конструкції пресів-грануляторів і встановлено, що найбільш ефективним для виробництва гранульованих комбікормів є прес-гранулятор з кільцевою матрицею. Запропоновано конструктивне удосконалення преса, яке передбачає встановлення регульованого шнекового живильника, розподільного напрямного вузла, удосконаленого механізму регулювання зазору між роликом і матрицею та матриці з ущільненим розміщенням отворів. Виконано розрахунок основних параметрів удосконалення.

У роботі також розглянуто питання охорони праці під час приготування комбікормів і роботи оператора преса-гранулятора. Проведено економічну оцінку запропонованого удосконалення. Встановлено, що впровадження модернізованого преса-гранулятора забезпечує зниження експлуатаційних витрат, підвищення виходу кондиційних гранул і є економічно доцільним.

Ключові слова: комбікорм, гранулювання, повнораціонний комбікорм, прес-гранулятор, кільцева матриця, технологічна схема, продуктивність, економічна ефективність.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ПРИГОТУВАННЯ КОМБІКОРМІВ	10
1.1 Комбікорми для годівлі сільськогосподарських тварин та птахів	10
1.2 Технологічне обладнання для приготування комбікормів	11
1.3 Технології та технічні засоби приготування гранульованих комбікормів	15
1.4 Висновки до розділу	20
2 УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ ПОВНОРАЦІОННИХ КОМБІКОРМІВ.....	22
2.1 Обґрунтування важливості питання	22
2.2 Вихідні дані та вимоги до кінцевого продукту	23
2.3 Удосконалена технологічна схема процесу	25
2.4 Визначення продуктивності процесу	27
2.5 Розрахунок технічного забезпечення процесу	28
2.6 Висновки до розділу	29
3 УДОСКОНАЛЕННЯ ПРЕСА-ГРАНУЛЯТОРА З КІЛЬЦЕВОЮ МАТРИЦЕЮ .	31
3.1 Аналіз існуючих конструкцій пресів-грануляторів	31
3.2 Розробка варіанту удосконалення	34
3.3 Визначення параметрів удосконалення	36
3.3.1 Вихідні дані для розрахунку	36
3.3.2 Розрахунок регульованого шнекового живильника	38
3.3.3 Розрахунок параметрів удосконаленої кільцевої матриці.....	41
3.3.4 Розрахунок силової взаємодії ролика з матрицею	44
3.3.5 Міцнісний розрахунок напрямної лопаті розподільного вузла	47
3.3.6 Розрахунок гвинтового механізму встановлення зазору	48
3.4 Висновки до розділу	51
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	52
4.1 Загальні вимоги безпеки при приготуванні комбікормів	52

4.2 Інструкція з охорони праці для оператора преса-гранулятора	53
4.3 Висновки до розділу	56
5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА.....	58
5.1 Вихідні дані.....	58
5.2 Розрахунок показників економічної ефективності	59
5.3 Висновки до розділу	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	61
БІБЛІОГРАФІЯ	62
ДОДАТКИ	66

ВСТУП

Ефективний розвиток сучасного тваринництва і птахівництва значною мірою залежить від рівня організації годівлі, якості кормів та технічного забезпечення процесів їх приготування. Однією з найважливіших умов підвищення продуктивності сільськогосподарських тварин і птиці є використання повнораціонних комбікормів, які забезпечують збалансоване надходження поживних, мінеральних і біологічно активних речовин відповідно до фізіологічних потреб поголів'я. При цьому істотне значення має не лише рецептурний склад комбікорму, а й його фізична форма, оскільки саме вона впливає на зручність транспортування, зберігання, механізованого роздавання, поїдання та засвоєння корму.

У практиці комбікормового виробництва широко застосовують розсипні та гранульовані комбікорми. Розсипна форма є простішою у виготовленні, однак має низку суттєвих недоліків, серед яких підвищене пилоутворення, можливість розшарування суміші під час транспортування, нерівномірне споживання окремих компонентів та збільшення втрат корму. Гранульовані комбікорми, навпаки, характеризуються кращими технологічними й експлуатаційними властивостями: мають вищу сипкість, менші втрати від пилу, більш зручні для зберігання та транспортування, забезпечують рівномірніше споживання поживних компонентів і, як наслідок, сприяють підвищенню ефективності годівлі свиней і птиці.

Ключовою машиною в процесі гранулювання є прес-гранулятор. Аналіз існуючих конструкцій показує, що найбільшого поширення у виробництві комбікормів набули гранулятори з кільцевою матрицею, які відзначаються високою продуктивністю, безперервністю роботи та придатністю до використання у складі промислових і господарських технологічних ліній. Разом з тим експлуатація таких машин виявляє низку проблем, пов'язаних із нерівномірністю подачі продукту в пресувальну зону, нестабільністю навантаження на ролики і матрицю, підвищеним

утворенням дріб'язку, зношуванням робочих органів та зростанням енергетичних витрат. Це зумовлює необхідність пошуку конструктивних рішень, спрямованих на удосконалення преса-гранулятора та підвищення ефективності його роботи.

Отже, тема дипломної роботи, присвячена удосконаленню процесу приготування повнораціонних комбікормів і преса-гранулятора з кільцевою матрицею, є актуальною як з технологічної, так і з економічної точки зору.

Мета роботи – підвищення ефективності процесу приготування повнораціонних комбікормів шляхом введення операції гранулювання в існуючу технологічну лінію та удосконалення конструкції преса-гранулятора з кільцевою матрицею.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено вирішення таких завдань:

- проаналізувати сучасні технології приготування комбікормів і обґрунтувати переваги гранульованої форми продукту;
- розробити удосконалену технологічну схему приготування повнораціонного гранульованого комбікорму на базі існуючого цеху розсипних комбікормів;
- визначити продуктивність процесу та обґрунтувати склад технічних засобів для реалізації удосконаленої технології;
- проаналізувати існуючі конструкції пресів-грануляторів та обґрунтувати вибір преса з кільцевою матрицею;
- запропонувати конструктивне удосконалення преса-гранулятора та визначити основні параметри удосконалення;
- оцінити умови безпечної експлуатації обладнання;
- виконати економічну оцінку запропонованих технічних рішень.

1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ПРИГОТУВАННЯ КОМБІКОРМІВ

1.1 Комбікорми для годівлі сільськогосподарських тварин та птахів

Комбікормом називають спеціально підготовлену багатокомпонентну кормову суміш, виготовлену із зернової, білкової, мінеральної та іншої сировини з уведенням необхідних добавок у такому співвідношенні, яке забезпечує повноцінну годівлю тварин і птиці відповідно до їх виду, віку, продуктивності та фізіологічного стану [1, 2]. На відміну від окремих кормових компонентів, комбікорм є технологічно сформованим продуктом із наперед заданими поживними, структурними та санітарно-гігієнічними властивостями.

Використання комбікормів у сучасному тваринництві та птахівництві дає змогу збалансувати раціони за обмінною енергією, сирым протеїном, амінокислотами, мінеральними речовинами, вітамінами та біологічно активними компонентами. Це створює передумови для підвищення продуктивності тварин, зменшення перевитрат кормів і стабілізації якості продукції. Крім того, правильно виготовлений комбікорм полегшує механізоване транспортування, зберігання та роздавання на фермах і в птахівничих приміщеннях [2, 3].

За призначенням комбікорми поділяють на повнораціонні, комбікорми-концентрати, білково-вітамінно-мінеральні добавки та премікси [1, 4]. Повнораціонні комбікорми використовують як єдиний кормовий продукт, здатний повністю забезпечити потребу тварин у поживних речовинах. Комбікорми-концентрати вводять до складу раціонів разом з іншими кормами для підвищення їх поживної цінності. Білково-вітамінно-мінеральні добавки та премікси застосовують у незначних кількостях для балансування сумішей за окремими компонентами.

За фізичною формою готової продукції комбікорми можуть бути розсипними, гранульованими, у вигляді крихти, екструдатів та експандатів [3–5]. Розсипний комбікорм являє собою суміш подрібнених і змішаних компонентів без

наступного ущільнення. Гранульований корм одержують пресуванням підготовленої суміші крізь отвори матриці. Крихту зазвичай виготовляють шляхом подрібнення гранул до розміру, зручного для молодняку птиці та тварин. Екструдовані та експандовані комбікорми отримують за умов інтенсивної термомеханічної дії, що змінює структуру кормової маси.

До основних вимог до якості комбікормів належать: відповідність рецептурі та призначенню; однорідність суміші; задана крупність подрібнення; допустимий уміст вологи; відсутність сторонніх механічних домішок, токсичних і мікробіологічно небезпечних включень; збереження поживної цінності в процесі виробництва та зберігання [2, 6]. Для гранульованих комбікормів додатково нормуються міцність гранул, стійкість до кришіння, вміст дріб'язку та стабільність геометричних розмірів, оскільки саме ці показники визначають транспортабельність і зручність механізованої роздачі [5, 7].

Таким чином, комбікорм є не просто сумішшю окремих інгредієнтів, а завершеним кормовим продуктом, ефективність якого значною мірою залежить від правильно обраної технології приготування. Від способу підготовки, змішування та формування кормової маси безпосередньо залежать поживна цінність, збереженість компонентів, технологічні властивості та виробнича придатність комбікорму.

1.2 Технологічне обладнання для приготування комбікормів

У комбікормовому виробництві застосовують дві основні організаційні схеми технологічного процесу - скорочений і розвинений технологічний цикл. Скорочений цикл характерний для невеликих господарських цехів та міні-ліній і передбачає мінімально необхідний набір операцій: приймання сировини, очищення, подрібнення, дозування, змішування та видачу готового продукту. Перевагою такого підходу є конструктивна простота, менша металоємність і нижчі капітальні

витрати, проте його можливості обмежені щодо точного дозування мікрокомпонентів, гнучкого керування рецептурами та забезпечення стабільно високої якості [1, 3].

Розвинений технологічний цикл реалізують на комбікормових заводах і високопродуктивних лініях. У цьому випадку процес охоплює детальнішу підготовку сировини, окреме дозування макро- і мікрокомпонентів, введення рідких добавок, кондиціювання, гранулювання або екструджування, охолодження, кришіння, сортування та фасування готової продукції [1, 4, 5]. Саме така схема створює передумови для отримання комбікормів із керованими властивостями та стабільними показниками якості.

Поопераційна технологія приготування комбікормів починається з приймання, очищення та транспортування сировини. Для цього застосовують приймальні бункери, норії, скребкові й шнекові транспортери, сепаратори, магнітні колонки та аспіраційні системи. На стадії очищення видаляються металомагнітні, мінеральні та великі органічні домішки, що підвищує безпечність процесу і зменшує зношування машин [1].

Наступною важливою операцією є подрібнення сировини. У комбікормовому виробництві найчастіше використовують молоткові дробарки та, рідше, вальцові станки. До промислових машин цього типу належать молоткові дробарки серій ANDRITZ Hammer Mill та Bühler Vertica, які застосовуються для підготовки зернових і білкових компонентів перед змішуванням та гранулюванням [8, 9]. Ступінь подрібнення має істотний вплив на однорідність суміші, засвоюваність корму та якість формування гранул.

Після подрібнення компоненти надходять на дозування й змішування. Для цього використовують вагові дозатори, шнекові живильники, порційні або безперервні змішувачі. У сучасних лініях передбачають окреме дозування макрокомпонентів, мікродобавок і рідких інгредієнтів, що дає змогу точніше витримувати

рецептуру та забезпечувати рівномірний розподіл функціональних добавок у всьому об'ємі суміші [1, 4].

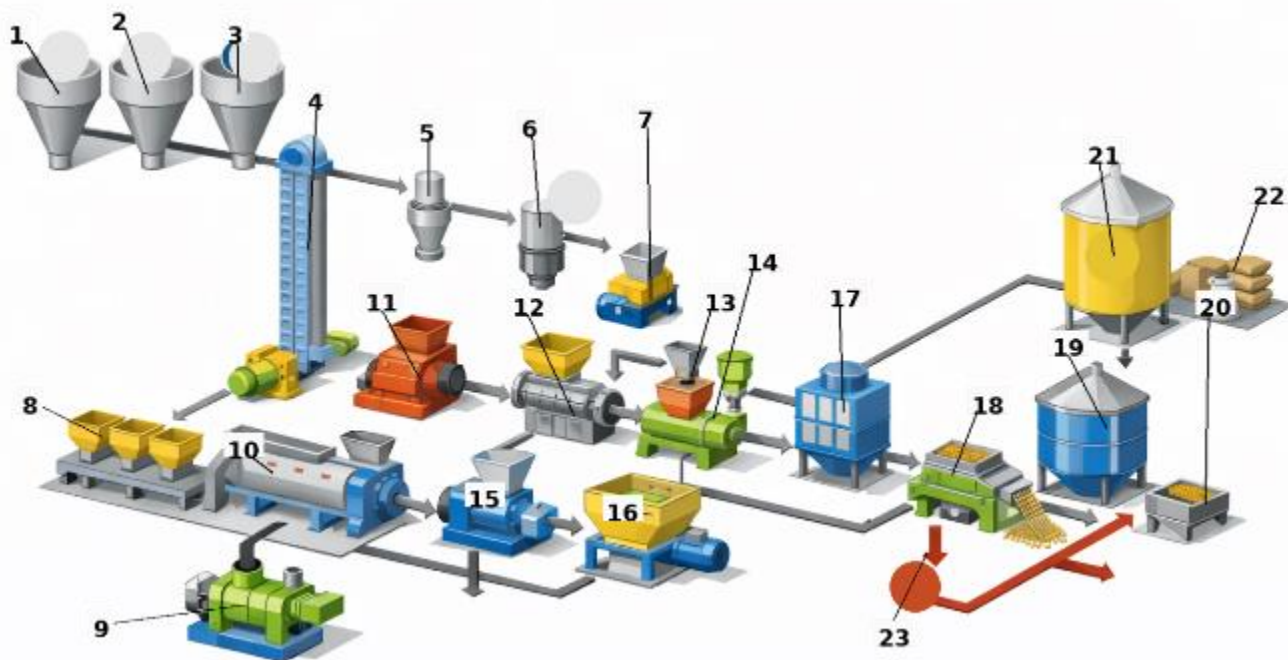


Рисунок 1.1 – Технологічна схема приготування повнораціонного гранульованого комбікорму: 1–3 – бункери сировини; 4 – норія; 5 – сепаратор; 6 – магнітна колонка; 7 – дробарка; 8 – дозатори компонентів; 9 – дозатор рідких компонентів; 10 – змішувач; 11 – проміжний дозувальний вузол; 12 – наддозаторний бункер; 13 – дозатор добавок; 14 – прес-гранулятор; 15 – проміжний транспортно-дозувальний вузол; 16 – живильний бункер; 17 – охолоджувач; 18 – просіювач; 19 – бункер готової продукції; 20 – лоток вивантаження гранул; 21 – бункер готових гранул; 22 – фасування (зона відвантаження); 23 – лінія повернення дріб'язку в гранулятор.

Кінцевий продукт комбікормового виробництва може бути різної форми. Найпростішим є розсипний комбікорм, який після змішування надходить на зберігання або фасування. Його перевагою є менша собівартість, однак недоліками

залишаються підвищене пилоутворення, схильність до сегрегації та можливість вибіркового поїдання окремих компонентів [3].

Для отримання гранульованого комбікорму після змішування суміш подають у кондиціонер, де її обробляють парою або вологою з одночасним підігрівом. Після цього підготовлена маса надходить у прес-гранулятор, де ущільнюється і продавлюється крізь отвори матриці. Гарячі гранули обов'язково охолоджують, а за потреби подрібнюють у крихту й просіюють. Для таких операцій використовують кондиціонери, прес-гранулятори, протитечійні охолоджувачі та кришильні машини, наприклад ANDRITZ Counterflow Cooler [10].

Екструдовані корми отримують в екструдерах, де кормова маса зазнає високого тиску, нагрівання і зсувних деформацій. Така технологія ефективна для спеціалізованих кормів, зокрема для аквакультури та домашніх тварин, коли необхідно змінити структурні властивості продукту або забезпечити його плавучість [11]. Експандовані комбікорми виготовляють в експандерах короткочасної термовологісної обробки; крім самостійного застосування, експандери часто використовують як підготовчий ступінь перед гранулюванням для покращення санітарного стану корму та умов пресування [12].

Порівняння різних форм готової продукції свідчить, що саме гранульований комбікорм найбільш повно відповідає вимогам сучасного механізованого тваринництва. Під час гранулювання зменшується розшарування суміші, підвищуються насипна щільність і транспортабельність, знижуються втрати від пилу, покращуються санітарно-гігієнічні показники завдяки термовологісній обробці, а також зменшується можливість вибіркового поїдання корму тваринами [5, 7, 13].

Отже, технологічне обладнання для приготування комбікормів формує єдину взаємопов'язану систему, у якій якість кінцевого продукту залежить від узгодженої роботи машин на всіх стадіях процесу. Серед різних способів завершення технологічного циклу гранулювання є найбільш раціональним варіантом, оскільки поєднує

достатню продуктивність, зручність логістики та високі експлуатаційні властивості комбікорму.

1.3 Технології та технічні засоби приготування гранульованих комбікормів

Виробництво гранульованих комбікормів є однією з найпоширеніших технологій фінішної обробки кормових сумішей. Його сутність полягає у формуванні з підготовленої кормової маси ущільнених частинок правильної геометричної форми, що мають достатню механічну міцність і стабільність під час транспортування, зберігання та роздавання. У загальному випадку процес включає змішування компонентів, кондиціювання, пресування через отвори матриці, охолодження, відділення дріб'язку та, за потреби, кришіння гранул [5, 7].

Гранулятор з кільцевою матрицею працює за принципом ущільнення підготовленої кормової суміші між пресувальними роликами та внутрішньою поверхнею кільцевої матриці з радіальними каналами. Попередньо підготовлена та кондиційована суміш надходить у приймальний патрубок гранулятора, звідки через живильний вузол подається в пресувальну зону. У робочій камері кормова маса захоплюється обертовими або притиснутими до матриці роликами, рівномірно розподіляється по її внутрішній поверхні та під дією значного тиску вдавлюється в отвори матриці.

У процесі пресування кормова суміш ущільнюється, частинки зближуються між собою, а за рахунок залишкової вологи, підвищеної температури після кондиціювання та механічної дії відбувається формування міцної гранули. Під час проходження матеріалу крізь канали матриці створюється опір, який забезпечує необхідний ступінь ущільнення. На зовнішній поверхні кільцевої матриці сформовані джгути продукту зрізаються ножами на гранули заданої довжини.

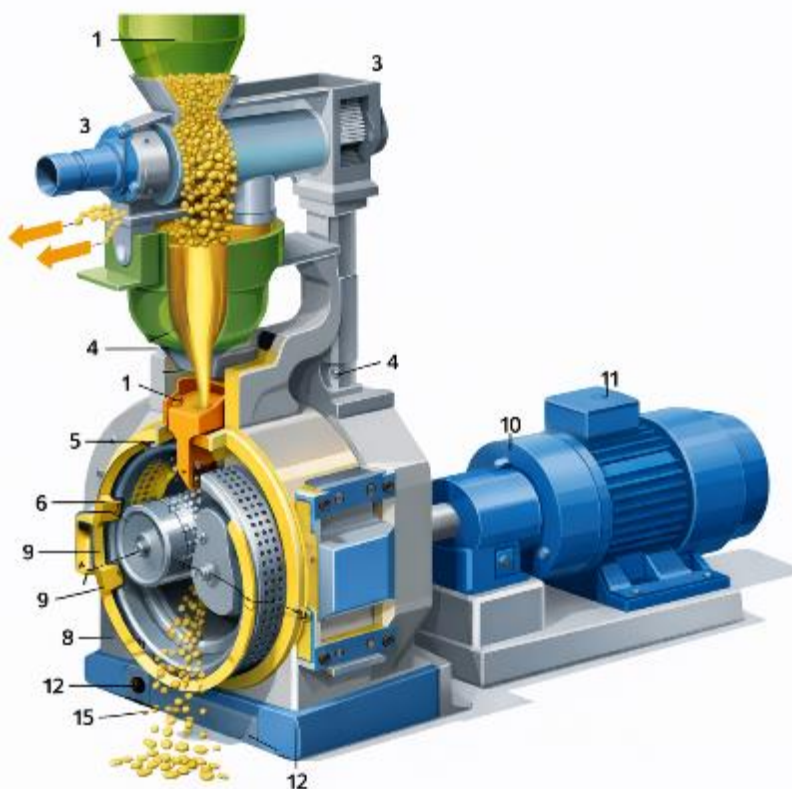


Рисунок 1.2 – Технологічна схема роботи гранулятора з кільцевою матрицею: 1 – приймальний бункер; 3 – привід живильного вузла; 4 – корпус гранулятора; 5 – кільцева матриця; 6 – пресувальний ролик; 8 – камера виходу гранул; 9 – вісь пресувального ролика; 10 – редуктор; 11 – електродвигун; 12 – станина; 15 – гранули

Готові гранули вивантажуються з робочої зони самопливом або через відповідний патрубок і далі надходять на охолодження та просіювання. Дріб'язок, що утворюється під час просіювання, зазвичай повертається на повторне гранулювання. Основними робочими органами такого гранулятора є кільцева матриця, пресувальні ролики, живильний пристрій, зрізні ножі, привідний механізм та корпус робочої камери.

На ефективність гранулювання впливають фізико-механічні властивості суміші, вологість, температура, ступінь подрібнення, вміст жиру, конструкція матриці, навантаження роликів та режим подачі матеріалу в пресувальну зону [7, 13].

Саме тому удосконалення грануляторів повинно враховувати не лише збільшення продуктивності, а й стабілізацію технологічних параметрів, які визначають якість гранул.

Для аналізу сучасного рівня технічних засобів доцільно розглянути кілька типових промислових машин. Першою є прес-гранулятор Bühler Kubex T 7. За даними виробника, ця машина призначена для високопродуктивного гранулювання комбікормів, оснащена прямим приводом і характеризується зниженим енергоспоживанням порівняно з попередніми конструкціями. Для гранул діаметром 4 мм продуктивність заявлена на рівні до 80 т/год, що свідчить про її орієнтацію на великі комбікормові підприємства [14].

Серія Bühler Kubex 5також належить до сучасних промислових пресів і вирізняється вдосконаленим пресувальним вузлом, раціональною компоновкою привода та увагою до підвищення енергоефективності процесу [15]. Для комбікормового виробництва це важливо, оскільки собівартість гранул значною мірою визначається саме питомими витратами енергії та ресурсом швидкозношуваних вузлів.

Ще одним прикладом є прес-гранулятор ANDRITZ FeedMax G. Дана серія орієнтована на виробництво комбікормів для різних видів тварин та позиціонується як обладнання з високою пропускною здатністю і вдосконаленим приводом. У конструкції реалізовано рішення, спрямовані на стабільне пресування, зручність технічного обслуговування та адаптацію до різних рецептур [16].

Для ANDRITZ Paladin 3000 характерними є жорстка станина, симетричне навантаження робочих органів, можливість використання різних конфігурацій роликів та конструктивна придатність до тривалої безперервної роботи [17]. Такі ознаки є типовими для промислових грануляторів, де надійність і ремонтпридатність мають першочергове значення.

Ще один гранулятор - CPM 3000 Series, а також лабораторний прес CPM CL-3. Якщо машини серії 3000 призначені для промислового виробництва, то CL-3

використовується для випробування нових рецептур, дослідження властивостей кормових сумішей та оцінювання впливу зміни технологічних режимів на якість гранул. Заявлена продуктивність лабораторної машини близько 30–200 lb/h робить її зручною для експериментальних досліджень та інженерного опрацювання нових конструктивних рішень [18].



Рисунок 1.3 - Прес-гранулятор Bühler Kubex T 7

Порівняльний аналіз наведених грануляторів показує, що сучасні машини розвиваються в кількох ключових напрямках: підвищення продуктивності, зниження питомого енергоспоживання, удосконалення приводу, покращення умов обслуговування, розширення діапазону перероблюваних рецептур і підвищення стабільності якості гранул [14–18]. Однак навіть у сучасних конструкціях залишаються актуальними проблеми нерівномірного надходження кормової маси в пресувальну зону, підвищеного зношування матриці та роликів, значної енергоємності процесу, а також чутливості результатів гранулювання до вологості й складу суміші [7, 13].



Рисунок 1.4 - Прес-гранулятор ANDRITZ FeedMax G



Рисунок 1.5 - Прес-гранулятор CPM 3000 Series

Для господарств середньої потужності та вітчизняних виробничих умов особливо важливими є простота конструкції, надійність, ремонтпридатність і можливість забезпечення належної якості гранул без надмірного ускладнення машини. Це означає, що подальше удосконалення технічних засобів гранулювання має бути спрямоване на оптимізацію конструкції пресувального вузла, матриці, подаючого пристрою та режимів підготовки суміші до пресування.

Отже, наявний рівень технічного розвитку грануляторів комбікормів свідчить про високий потенціал цих машин, але не усуває потреби в їх подальшому вдосконаленні. Саме тому актуальним напрямом досліджень є обґрунтування конструктивних і технологічних рішень, здатних знизити енерговитрати, підвищити стабільність роботи гранулятора та покращити якість готових гранул.

1.4 Висновки до розділу

У розділі встановлено, що комбікорм є багатокомпонентним кормовим продуктом, поживна цінність, безпечність і технологічна придатність якого визначаються не лише рецептурою, а й способом його виготовлення. Проаналізовано основні види комбікормів за призначенням і формою випуску та показано, що найбільш універсальною формою для механізованого тваринництва і птахівництва є гранульований комбікорм.

Розглянуто скорочений та розвинений технологічні цикли приготування комбікормів, а також основні операції поопераційної технології: очищення, подрібнення, дозування, змішування, кондиціонування, гранулювання, охолодження та сортування. Встановлено, що саме повнота й узгодженість виконання цих операцій визначають якість кінцевої продукції.

Огляд сучасних технічних засобів гранулювання комбікормів на прикладі машин Bühler Kubex T 7, Bühler Kubex 5, ANDRITZ FeedMax G, ANDRITZ Paladin

3000 та СРМ 3000/CL-3 показав, що провідними напрямками розвитку є підвищення продуктивності, енергоефективності, надійності та зручності технічного обслуговування. Разом з тим зберігаються проблеми енергоємності процесу, зношування робочих органів і залежності якості гранул від параметрів підготовки суміші.

На підставі проведеного аналізу зроблено висновок про доцільність подальшого вдосконалення технічних засобів приготування гранульованих комбікормів.

2 УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ ПОВНОРАЦІОННИХ КОМБІКОРМІВ

2.1 Обґрунтування важливості питання

На підприємстві функціонує цех з виробництва розсипного повнораціонного комбікорму. Така форма продукту є технологічно простою у виготовленні, однак під час транспортування, зберігання та згодовування має низку недоліків: підвищене пилоутворення, часткове розшарування компонентів, нерівномірність споживання окремих складників і більші втрати корму. Для свинарства та птахівництва ці фактори мають особливе значення, оскільки фізична форма корму безпосередньо впливає на його поїдання, конверсію та санітарний стан годівлі [1].

Удосконалення діючого процесу доцільно здійснити шляхом введення операції гранулювання без повної заміни існуючого комбікормового цеху. У такому разі підготовка сировини, її очищення, подрібнення, дозування та змішування залишаються базовою частиною технологічної лінії, а після змішувача встановлюється додатковий блок, який включає наддозаторний бункер, кондиціонер, прес-гранулятор, охолоджувач і просіювач. Це дозволяє відносно невеликими витратами отримати нову форму готового продукту з кращими споживчими та експлуатаційними властивостями [2].

Для свиней використання гранульованого комбікорму забезпечує стабільніше споживання корму, зменшення його втрат і покращення використання поживних речовин. За даними Iowa Pork Industry Center та PorkGateway, у порівнянні з борошністими раціонами гранульовані комбікорми можуть забезпечувати підвищення середньодобового приросту та покращення кормовіддачі, якщо зберігається належна якість гранул і не допускається надмірне руйнування структури продукту [3, 4].

Для птиці переваги гранулювання виявляються у зниженні вибіркості поїдання, поліпшенні однорідності споживання поживних речовин, зменшенні кількості пилу в зоні годівлі та покращенні конверсії корму. Разом з тим на продуктивний ефект істотно впливає міцність гранул і частка дріб'язку після транспортування, тому під час проектування модернізованого процесу необхідно забезпечити стабільну якість гранульованого продукту [5].

Додатковим позитивним чинником є термовологісна обробка суміші у кондиціонері перед пресуванням. Вона підвищує пластичність кормової маси, частково поліпшує санітарний стан корму, сприяє кращому формуванню гранул та зменшує кришіння готової продукції. Отже, введення операції гранулювання в діючий кормоцех є технічно обґрунтованим і спрямованим на підвищення якості комбікормів для свиней і птиці [1, 6].

2.2 Вихідні дані та вимоги до кінцевого продукту

Для модернізації приймається гранулятор продуктивністю 1,5 т/год по готовому гранульованому комбікорму. Цех працює у дві зміни по 8 годин, отже тривалість роботи протягом доби становить 16 год. За таких умов добовий випуск гранульованого комбікорму визначається як добуток годинної продуктивності гранулятора на добовий фонд часу роботи.

$$Q_d = 1,5 \cdot 16 = 24 \text{ т/добу}$$

$$Q_p = 24 \cdot 250 = 6000 \text{ т/рік}$$

де Q_d – добовий випуск продукції, т/добу;

Q_p – орієнтовний річний випуск продукції, т/рік;

250 – умовна кількість робочих днів за рік.

Оскільки фактична продуктивність окремих операцій технологічної лінії зменшується під впливом коефіцієнтів використання обладнання, нерівномірності подачі й технологічних втрат, як основу модернізації доцільно прийняти установку для виробництва розсипного комбікорму продуктивністю 2,0 т/год. Для малих комбікормових ліній саме діапазон 1–2 т/год є типовим і добре узгоджується з подальшим введенням прес-гранулятора продуктивністю 1,5 т/год [2, 6].

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для проектування процесу гранулювання

Показник	Позначення	Значення
Продуктивність гранулятора по готовому продукту	$Q_{гр}$	1,5 т/год
Режим роботи		2 зміни
Тривалість зміни	$t_{зм}$	8 год
Тривалість роботи за добу	t_d	16 год
Добовий випуск гранул	Q_d	24 т/добу
Орієнтовний річний фонд робочих днів	D	250 діб
Орієнтовний річний випуск	Q_p	6000 т/рік
Базова установка розсипного комбікорму		2,0 т/год
Вид кінцевого продукту		гранульований повнораціональний комбікорм

Для комбікормів, призначених для свиней та птиці, до кінцевого продукту висуваються не лише поживні, а й фізико-механічні та санітарні вимоги. Найбільш важливими для гранульованого продукту є однорідність суміші перед

гранулюванням, вологість і температура після охолодження, міцність гранул, частка дріб'язку та стабільність геометричних розмірів [1].

Таблиця 2.2 – Основні вимоги до гранульованого повнораціонного комбікорму

Показник	Вимога
Однорідність суміші перед гранулюванням	CV не більше 5 %
Вологість після охолодження	11,5–13,5 %
Температура гранул після охолодження	Не більше температури навколишнього середовища + 5...10 °C
Частка дріб'язку після просіювання	Не більше 5–8 %
Міцність гранул (PDI)	Не менше 90 %
Діаметр гранул для свиней і птиці	3–5 мм
Сторонні та металомангнітні домішки	Не допускаються

2.3 Удосконалена технологічна схема процесу

Базова технологічна схема цеху розсипного комбікорму включає приймання й підготовку сировини, її очищення, подрібнення, дозування, змішування та видачу розсипного продукту. Для переходу до гранульованої форми комбікорму після змішування до схеми вводиться окремий блок гранулювання, що складається з наддозаторного бункера, кондиціонера, прес-гранулятора, охолоджувача, просіювача і транспортного пристрою для повернення дріб'язку [2].

На рисунку 2.1 представлено удосконалену технологічну схему приготування повнораціонного комбікорму, яка передбачає використання кількох зернових

компонентів (пшениця, кукурудза, ячмінь, горох та інші), що проходять стадії очищення, подрібнення та дозування.

Після підготовки зернова суміш надходить у змішувач, куди додатково вводяться білково-вітамінно-мінеральні добавки (БВМД). У змішувачі забезпечується рівномірний розподіл компонентів до досягнення однорідності суміші ($CV \leq 5\%$).

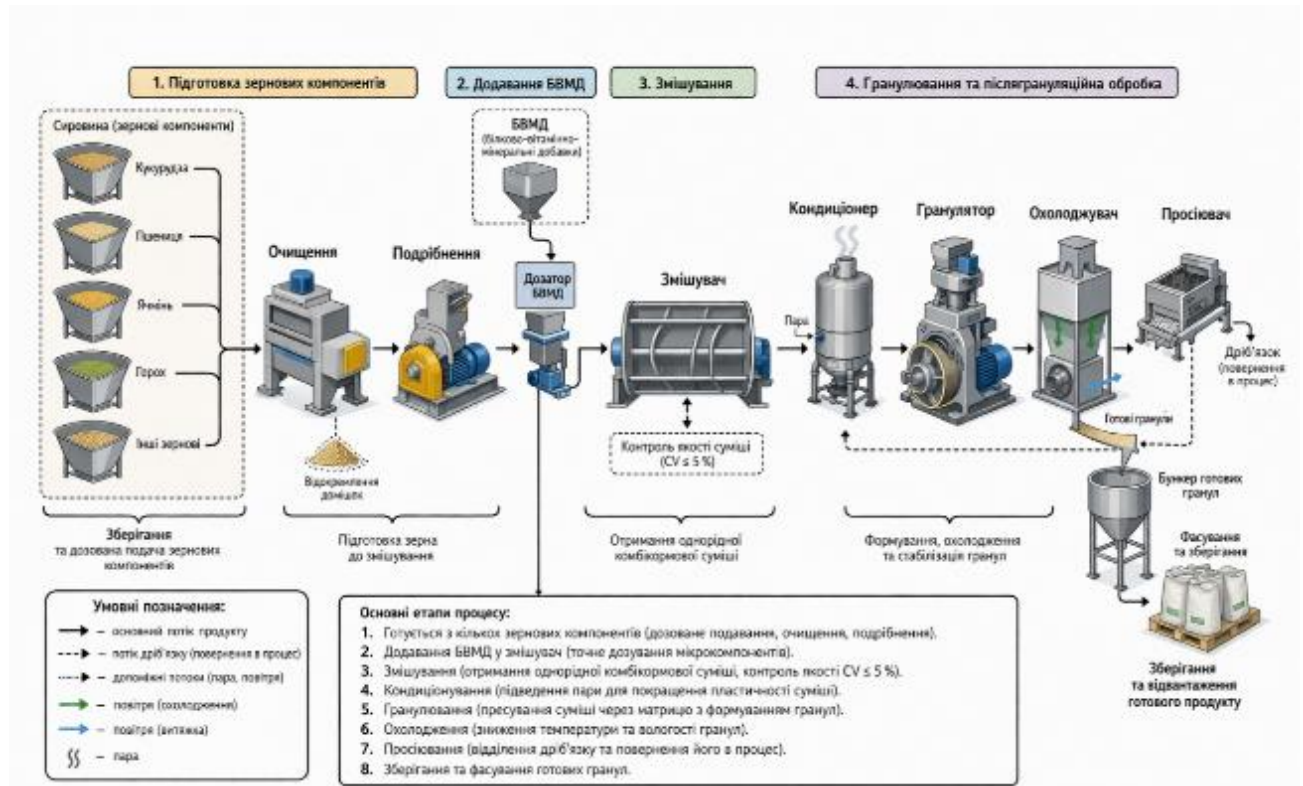


Рисунок 2.1 – Удосконалена технологічна схема приготування повнораціонного гранульованого комбікорму

Далі суміш накопичується у бункері готової суміші та подається в кондиціонер, де піддається обробці парою з метою підвищення пластичності та покращення умов гранулювання. Після цього відбувається пресування суміші в грануляторі з утворенням гранул.

Гранули надходять в охолоджувач, де знижуються їх температура і вологість до значень, придатних для зберігання, після чого проходять стадію просіювання з відокремленням дріб'язку. Дрібна фракція повертається на повторне гранулювання. Готовий продукт накопичується в бункері гранул та направляється на фасування і зберігання. [6].

2.4 Визначення продуктивності процесу

Ефективну продуктивність кожної операції визначаємо за залежністю

$$Q_{\text{еф}} = Q_{\text{ном}} \cdot k,$$

де $Q_{\text{еф}}$ – ефективна продуктивність операції, т/год;

$Q_{\text{ном}}$ – номінальна продуктивність машини, т/год;

k – коефіцієнт використання продуктивності.

Для базової установки розсипного комбикорму приймаємо номінальну продуктивність 2,0 т/год, а для вузлів блоку гранулювання – 1,8 т/год. Таке рішення забезпечує резерв продуктивності щодо заданого випуску 1,5 т/год готових гранул.

Таблиця 2.3 – Розрахунок продуктивності процесу

Операція	Номінальна продуктивність, т/год	Коефіцієнт k	Ефективна продуктивність, т/год
Очищення сировини	2,0	0,95	1,90
Подрібнення	2,0	0,90	1,80
Дозування	2,0	0,95	1,90

Змішування	2,0	0,90	1,80
Подача у блок гранулювання	1,8	0,95	1,71
Кондиціювання	1,8	0,95	1,71
Гранулювання	1,8	0,88	1,58
Охолодження	1,8	0,95	1,71
Просіювання	1,8	0,95	1,71
Вихід готового продукту з урахуванням втрат	1,58	0,95	1,50

З наведених розрахунків видно, що визначальною операцією є гранулювання, оскільки саме вона має найменший резерв продуктивності. За прийнятих коефіцієнтів використання обладнання ефективна продуктивність процесу становить 1,50 т/год, що відповідає заданій потужності модернізованої лінії.

2.5 Розрахунок технічного забезпечення процесу

Для технічного забезпечення модернізованого процесу приймається одна комплектна лінія, побудована на базі установки розсипного комбікорму 2,0 т/год та доповнена блоком гранулювання 1,5 т/год. Для конкретизації набору машин використовуємо типові рішення, характерні для малих комбікормових цехів [2, 6].

За результатами уточнюючого розрахунку встановлено, що для забезпечення випуску 1,5 т/год гранульованого комбікорму достатньо однієї технологічної лінії з одним комплектом основних машин. Резерв продуктивності базової установки є доцільним, оскільки дає змогу компенсувати нерівномірність завантаження обладнання та забезпечує стабільне живлення прес-гранулятора.

Таблиця 2.4 – Уточнений вибір технічних засобів процесу

Операція	Машина	Кількість
Очищення сировини	Сепаратор попереднього очищення 2 т/год	1
Подрібнення	Молоткова дробарка 2 т/год	1
Дозування компонентів	Бункери-дозатори / ваговий дозатор	1 комплект
Змішування	Горизонтальний змішувач 1,0 т/заміс	1
Подача у гранулятор	Наддозаторний бункер із живильником	1
Кондиціонування	Паровий кондиціонер 1,5–2,0 т/год	1
Гранулювання	Прес-гранулятор з кільцевою матрицею 1,5 т/год	1
Охолодження	Протитечійний охолоджувач 1,5–2,0 т/год	1
Просіювання	Вібросито / просіювач 1,5–2,0 т/год	1
Повернення дріб'язку	Шнековий або скребковий транспортер	1
Фасування	Напіваавтоматичний ваговий пакувальник	1

2.6 Висновки до розділу

У розділі обґрунтовано доцільність модернізації діючого цеху розсипного комбікорму шляхом введення операції гранулювання. Показано, що така модернізація є ефективною для виробництва комбікормів для свиней і птиці, оскільки

гранульована форма корму покращує його фізичні властивості, зменшує втрати, стабілізує споживання і сприяє поліпшенню показників годівлі.

Прийнято вихідні дані для проектування: продуктивність гранулятора 1,5 т/год і двозмінний режим роботи, що забезпечує добовий випуск 24 т гранульованого комбікорму та орієнтовний річний обсяг 6000 т. Як базу модернізації прийнято установку для виробництва розсипного комбікорму продуктивністю 2,0 т/год.

Розроблено удосконалену технологічну схему процесу, виконано розрахунок продуктивності по операціях і уточнено комплект технічних засобів. Встановлено, що за прийнятих коефіцієнтів використання обладнання одна технологічна лінія забезпечує заданий випуск 1,5 т/год готового гранульованого продукту.

3 УДОСКОНАЛЕННЯ ПРЕСА-ГРАНУЛЯТОРА З КІЛЬЦЕВОЮ МАТРИЦЕЮ

3.1 Аналіз існуючих конструкцій пресів-грануляторів

У технологіях гранулювання кормових сумішей застосовують кілька конструктивних схем пресів-грануляторів, які відрізняються способом підведення матеріалу до зони ущільнення, типом робочого органа та характером формування гранули. Найбільш поширеними є шнекові, шестеренні, плоскоматричні та кільцевоматричні преси. Їх порівняння дає змогу обґрунтувати вибір машини, що найбільшою мірою відповідає вимогам виробництва повнораціонних комбікормів для свиней і птиці.

Шнековий прес-гранулятор працює за принципом осьового транспортування і ущільнення кормової маси за допомогою гвинтового робочого органа.

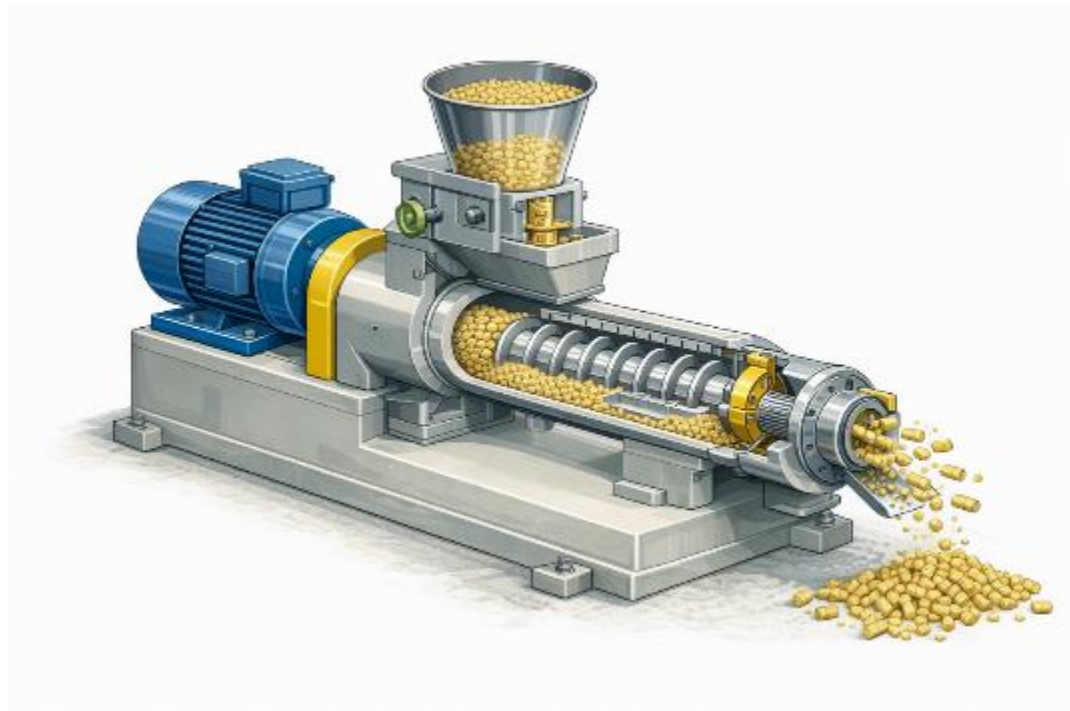


Рисунок 3.1 - Шнековий прес-гранулятор

У такій машині шнек одночасно виконує функції переміщення продукту, підпресовування та подачі його до формувального вузла. До переваг шнекових грануляторів належать відносна простота конструкції, компактність і можливість зміни конфігурації шнека залежно від властивостей сировини. Разом з тим для шнекових машин характерні підвищене тертя, нерівномірність тиску по довжині каналу пресування, порівняно менша стабільність процесу та обмежена придатність до тривалої безперервної роботи. Тому шнекові гранулятори доцільно використовувати переважно в дослідних, лабораторних або малопродуктивних установках.

Шестеренний прес-гранулятор є менш поширеним різновидом машин для ущільнення сипких і пастоподібних матеріалів. У ньому тиск на продукт створюється за рахунок взаємодії зубчастих елементів з формувальною поверхнею, що забезпечує локальне інтенсивне пресування. Перевагою шестеренної схеми є компактність та можливість формування короткої зони ущільнення з високими питомими навантаженнями. Недоліками є складність виготовлення, підвищені вимоги до точності складання і регулювання, нерівномірність навантаження на робочі органи та обмежене поширення в комбікормовому виробництві. Тому шестеренна схема не набула широкого застосування у промислових лініях приготування гранульованих комбікормів.

У пресах з пласкою матрицею кормова суміш подається на горизонтальну або похилу матрицю, а ролики продавлюють її крізь отвори. Перевагами таких машин є відносна конструктивна простота, зручність обслуговування, можливість використання в невеликих господарствах і достатня універсальність щодо різних сумішей. Однак зі збільшенням продуктивності пласкоматричні преси суттєво зростають у габаритах, а забезпечити рівномірний розподіл продукту по робочій площі матриці стає складніше. Крім того, вони гірше пристосовані до роботи у великих безперервних технологічних лініях, де потрібно підтримувати сталу продуктивність і стабільну якість гранул.

Прес-гранулятор з кільцевою матрицею працює за принципом продавлювання кондиційованої кормової суміші роликками крізь отвори кругової матриці. У сучасних промислових лініях саме кільцево-матричні преси є найбільш поширеними, оскільки вони забезпечують високу продуктивність, стабільну якість гранул, достатню довговічність робочих органів і кращу пристосованість до автоматизації процесу.

Така конструкція забезпечує безперервність процесу, можливість роботи з порівняно великою продуктивністю, кращу інтеграцію з кондиціонером, а також зручність зміни матриць і налаштування роликового вузла.



Рисунок 3.2 - Прес-гранулятор з пласкою матрицею

Порівняльний аналіз показує, що для умов модернізації комбікормового цеху продуктивністю 1,5 т/год найбільш доцільним є застосування саме преса-гранулятора з кільцевою матрицею. Він поєднує високу продуктивність, придатність до

безперервної роботи, зручність регулювання та добрі передумови для подальшого конструктивного удосконалення.

Таблиця 3.1 - Порівняння основних конструкцій пресів-грануляторів

Тип преса	Конструктивна схема	Переваги	Недоліки	Доцільність для комбі-кормів
Шнековий	Шнек у корпусі, продавлювання через формувальний вузол	Простота, компактність, універсальність	Невисока стабільність процесу, низька ефективність	Дослідні та малопродуктивні установки
Шестеренний	Матриця і зубчасті колеса, локальне ущільнення	Компактність, інтенсивне місцеве пресування	Складність виготовлення і регулювання	Обмежене застосування
З пласкою матрицею	Горизонтальна матриця, ролики пресують через отвори	Відносна простота, універсальність	Менша придатність до великої продуктивності	Невеликі та середні установки
З кільцевою матрицею	Кільцева матриця, ролики працюють у зоні матриці	Висока продуктивність, безперервність роботи, зручність регулювання	Складніша конструкція і вища вартість	Найбільш доцільний варіант

3.2 Розробка варіанту удосконалення

Аналіз конструкцій сучасних кільцево-матричних пресів показує, що основні резерви вдосконалення пов'язані не зі зміною базової кінематичної схеми, а з покращенням окремих вузлів машини: системи подачі суміші, рівномірності її

розподілу по ширині матриці, механізму регулювання зазору між роликком і матрицею та самої матриці.

З урахуванням цього пропонується розглянути такі варіанти удосконалення преса-гранулятора з кільцевою матрицею: установлення частотно-керованого шнекового живильника; застосування розподільного напрямного вузла над робочою зоною роликів; удосконалення механізму регулювання роликкового вузла шляхом використання гвинтово-ексцентрикового механізму; застосування матриці з ущільненим розміщенням отворів.

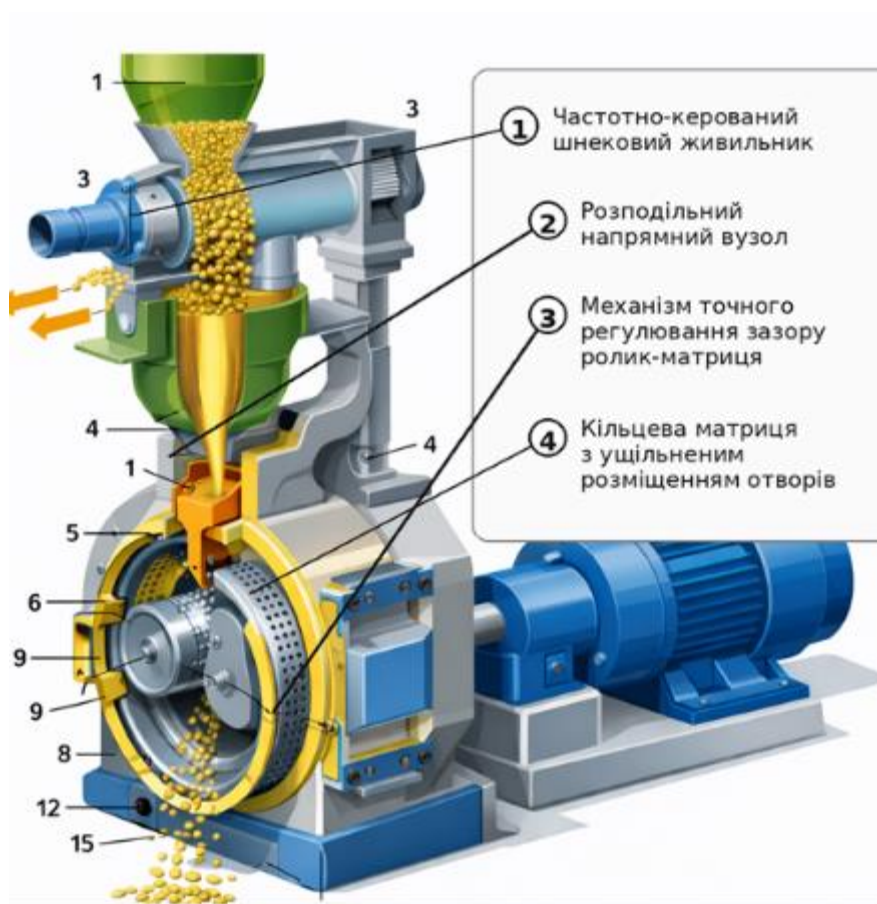


Рисунок 3.1 - Схема удосконаленого преса-гранулятора з кільцевою матрицею: 1 - частотно-керований шнековий живильник; 2 - розподільний напрямний вузол; 3 - механізм точного регулювання зазору ролик - матриця; 4 - кільцева матриця з ущільненим розміщенням отворів.

Для подальшого розрахунку приймається комбінований варіант удосконалення, який включає: 1) частотно-керований шнековий живильник; 2) розподільний напрямний вузол; 3) механізм точного регулювання зазору ролик - матриця; 4) кільцеву матрицю з ущільненим розміщенням отворів. Такий варіант не змінює принципу роботи машини, але безпосередньо впливає на рівномірність навантаження, стабільність формування гранул і енергоємність процесу. На рисунку 3.1 наведено схему удосконаленого преса-гранулятора з позначенням нових вузлів.

3.3 Визначення параметрів удосконалення

Розрахунок виконано для преса-гранулятора з кільцевою матрицею продуктивністю 1,5 т/год по готових гранулах. Як базу прийнято модернізацію, що включає: регульований шнековий живильник, матрицю з ущільненим розташуванням отворів, напрямні лопаті для вирівнювання шару продукту перед роликами та гвинтовий механізм точного встановлення зазору ролик-матриця. Розрахунки виконано для режиму гранулювання повнораціонного комбікорму для свиней і птиці після кондиціювання суміші.

3.3.1 Вихідні дані для розрахунку

Таблиця 3.2 - Вихідні дані для розрахунку параметрів удосконалення

Показник	Позначення	Значення
Продуктивність по готовому продукту, т/год	Q	1,5
Масова продуктивність, кг/с	Q _m	1500/3600
Густина кондиційованої суміші, кг/м ³	ρ	580
Внутрішній діаметр кільцевої матриці, м	D _i	0,32
Робоча ширина матриці, м	b	0,055

Діаметр отворів матриці, м	d	0,004
Робоча довжина каналу матриці, м	L	0,028
Коефіцієнт відкритої площі матриці	φ	0,16
Коефіцієнт тертя в парі ролик-матриця	μ	0,32
Потужність головного приводу, кВт	N _d	22
ККД приводу гранулятора	η _d	0,90
Частота обертання матриці, хв ⁻¹	n _m	230

Масова продуктивність лінії становить:

$$Q_m = \frac{1500}{3600} = 0,417 \text{ кг/с} \quad (3.1)$$

де Q_m - масова продуктивність лінії, кг/с;

1500 - продуктивність по готовому продукту, кг/год;

3600 - кількість секунд у годині.

Об'ємна подача кондиційованої суміші:

$$Q_v = \frac{Q_m}{\rho} = \frac{0,417}{580} = 7,18 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.2)$$

де Q_v - об'ємна подача кондиційованої суміші, м³/с;

Q_m - масова продуктивність, кг/с;

ρ - густина кондиційованої суміші, кг/м³.

Отримане значення Q_v далі використовується для розрахунку живильника, матриці та завантаження робочої зони преса.

3.3.2 Розрахунок регульованого шнекового живильника

Для живильника приймаємо зовнішній діаметр шнека $D = 0,12$ м, діаметр вала $d_0 = 0,04$ м, крок шнека $S = 0,10$ м, коефіцієнт заповнення $\psi = 0,30$. Корисний об'єм матеріалу, що подається за один оберт шнека, дорівнює:

$$V_1 = \frac{\pi}{4} (D^2 - d_0^2) S \psi \quad (3.3)$$

де V_1 - корисний об'єм матеріалу, що подається шнеком за один оберт, м³;

D - зовнішній діаметр шнека, м;

d_0 - діаметр вала шнека, м;

S - крок шнека, м;

ψ - коефіцієнт заповнення міжвиткового простору.

Після підстановки числових значень маємо:

$$V_1 = \frac{3,1416}{4} (0,12^2 - 0,04^2) \cdot 0,10 \cdot 0,30 = 3,02 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \quad (3.4)$$

Потрібна частота обертання шнека для забезпечення подачі Q_v становить:

$$n = \frac{60 Q_v}{V_1} = \frac{60 \cdot 7,18 \cdot 10^{-4}}{3,02 \cdot 10^{-4}} = 142,9 \text{ хв}^{-1} \quad (3.5)$$

де n - частота обертання шнека, хв⁻¹;

Q_v - об'ємна подача матеріалу, м³/с;

V_1 - подача за один оберт шнека, м³.

Осьова швидкість переміщення продукту шнеком:

$$v_a = \frac{Sn}{60} = \frac{0,10 \cdot 142,9}{60} = 0,238 \text{ м/с} \quad (3.6)$$

де v_a - осьова швидкість переміщення продукту шнеком, м/с;

S - крок шнека, м; n - частота обертання шнека, хв⁻¹.

Для визначення навантаження на шнек приймаємо, що в зоні виходу живильника створюється підпірний тиск $p_f = 0,05$ МПа. Площа живого перерізу шнека дорівнює:

$$A_c = \frac{\pi}{4} (D^2 - d_0^2) = \frac{3,1416}{4} (0,12^2 - 0,04^2) = 1,005 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2 \quad (3.7)$$

де A_c - площа живого перерізу шнека, м²;

D - зовнішній діаметр шнека, м;

d_0 - діаметр вала шнека, м.

Сила, необхідна для подолання підпору матеріалу на виході шнека:

$$F_p = p_f A_c = 0,05 \cdot 10^6 \cdot 1,005 \cdot 10^{-2} = 502,7 \text{ Н} \quad (3.8)$$

де F_p - сила підпору матеріалу на виході шнека, Н;

p_f - підпірний тиск у вихідній зоні живильника, Па;

A_c - площа живого перерізу шнека, m^2 .

Додатково враховуємо силу тертя матеріалу об жолоб живильника. За довжини шнека $l_s = 0,35$ м та коефіцієнта тертя $\mu_s = 0,40$ маємо:

$$F_f = \mu_s \rho \psi A_c g l_s = 0,40 \cdot 580 \cdot 0,30 \cdot 1,005 \cdot 10^{-2} \cdot 9,81 \cdot 0,35 = 2,40 \text{ Н} \quad (3.9)$$

де F_f - сила тертя матеріалу об жолоб живильника, Н;

μ_s - коефіцієнт тертя матеріалу об поверхню жолоба;

ρ - густина суміші, kg/m^3 ; ψ - коефіцієнт заповнення;

A_c - площа живого перерізу шнека, m^2 ;

g - прискорення вільного падіння, m/s^2 ;

l_s - довжина шнека, м.

Тоді крутний момент на шнеку:

$$M_s = (F_p + F_f) \frac{D}{2} = (502,7 + 2,4) \cdot 0,06 = 30,30 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.10)$$

де M_s - крутний момент на шнеку, $N \cdot m$;

F_p - сила підпору, Н;

F_f - сила тертя, Н;

D - зовнішній діаметр шнека, м.

Потрібна потужність приводу живильника за ККД $\eta_s = 0,75$:

$$N_s = \frac{2\pi n M_s}{60 \eta_s} = \frac{2\pi \cdot 142,9 \cdot 30,30}{60 \cdot 0,75} = 0,605 \text{ кВт} \quad (3.11)$$

де N_s - потрібна потужність приводу живильника, кВт;

n - частота обертання шнека, хв^{-1} ;

M_s - крутний момент на шнеку, $\text{Н} \cdot \text{м}$;

η_s - коефіцієнт корисної дії приводу живильника.

Отже, для удосконаленого живильника доцільно прийняти електродвигун 0,75 кВт з частотним регулюванням у межах 80-180 хв^{-1} , що забезпечує стаке живлення пресувальної зони при зміні рецептури та вологості суміші.

3.3.3 Розрахунок параметрів удосконаленої кільцевої матриці

Робоча площа внутрішньої поверхні матриці визначається за виразом:

$$A_w = \pi D_i b = 3,1416 \cdot 0,32 \cdot 0,055 = 5,529 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2 \quad (3.12)$$

де A_w - робоча площа внутрішньої поверхні кільцевої матриці, м^2 ; D_i - внутрішній діаметр матриці, м; b - робоча ширина матриці, м.

Сумарна площа відкритих отворів матриці:

$$A_o = \varphi A_w = 0,16 \cdot 5,529 \cdot 10^{-2} = 8,847 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

(3.13)

де A_o - сумарна площа відкритих отворів матриці, м^2 ; ϕ - коефіцієнт відкритої площі матриці; A_w - робоча площа внутрішньої поверхні матриці, м^2 .

Площа одного отвору діаметром 4 мм дорівнює:

$$a_h = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,1416 \cdot 0,004^2}{4} = 1,257 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \quad (3.14)$$

де a_h - площа одного отвору матриці, м^2 ; d - діаметр отвору матриці, м.

Кількість отворів у матриці:

$$z = \frac{A_o}{a_h} = \frac{8,847 \cdot 10^{-3}}{1,257 \cdot 10^{-5}} = 704 \text{ отв.} \quad (3.15)$$

де z - кількість отворів у матриці, шт.; A_o - сумарна площа відкритих отворів, м^2 ; a_h - площа одного отвору, м^2 .

Середня швидкість руху матеріалу в каналах матриці:

$$v_h = \frac{Q_v}{A_o} = \frac{7,18 \cdot 10^{-4}}{8,847 \cdot 10^{-3}} = 0,0812 \text{ м/с} \quad (3.16)$$

де v_h - середня швидкість руху матеріалу в каналах матриці, м/с; Q_v - об'ємна подача суміші, $\text{м}^3/\text{с}$; A_o - сумарна площа відкритих отворів матриці, м^2 .

Середній час перебування матеріалу в каналі матриці:

$$\tau = \frac{L}{v_h} = \frac{0,028}{0,0812} = 0,345 \text{ с} \quad (3.17)$$

де τ - середній час перебування матеріалу в каналі матриці, с;

L - робоча довжина каналу матриці, м;

v_h - середня швидкість руху матеріалу в каналі, м/с.

Ступінь стискання в каналі матриці характеризує відношення довжини каналу до діаметра отвору:

$$k_c = \frac{L}{d} = \frac{0,028}{0,004} = 7,0 \quad (3.18)$$

де k_c - ступінь стискання в каналі матриці;

L - робоча довжина каналу матриці, м;

d - діаметр отвору матриці, м.

Для оцінки ущільнення схеми розташування отворів використаємо вираз для умовного кроку трикутної сітки:

$$t = d \sqrt{\frac{\pi}{2\sqrt{3}\varphi}} = 0,004 \sqrt{\frac{3,1416}{2 \cdot 1,732 \cdot 0,16}} = 9,52 \text{ мм} \quad (3.19)$$

де t - умовний крок розміщення отворів у трикутній сітці, м;

d - діаметр отвору матриці, м;

φ - коефіцієнт відкритої площі матриці.

Для порівняння: при стандартному коефіцієнті відкритої площі $\varphi_0 = 0,14$ умовний крок становив би 10,18 мм, а швидкість руху продукту в каналах - 0,0928 м/с. Отже,

запропоноване удосконалення матриці зменшує швидкість руху продукту в отворах на 12,5 %, що сприяє стабільнішому ущільненню та зниженню локального перевантаження окремих зон пресування.

3.3.4 Розрахунок силової взаємодії ролика з матрицею

Крутний момент на матриці за потужності головного приводу $N_d = 22$ кВт визначається:

$$M_m = \frac{9550 N_d \eta_d}{n_m} = \frac{9550 \cdot 22 \cdot 0,90}{230} = 822,1 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.20)$$

де M_m - крутний момент на матриці, Н·м;

N_d - потужність головного приводу, кВт;

η_d - коефіцієнт корисної дії приводу гранулятора;

n_m - частота обертання матриці, хв⁻¹;

9550 - коефіцієнт переходу від потужності до моменту.

Тангенціальна сила на внутрішній поверхні матриці:

$$F_t = \frac{2M_m}{D_i} = \frac{2 \cdot 822,1}{0,32} = 5138,3 \text{ Н} \quad (3.21)$$

де F_t - тангенціальна сила на внутрішній поверхні матриці, Н;

M_m - крутний момент на матриці, Н·м;

D_i - внутрішній діаметр матриці, м.

Сумарна нормальна сила притиску роликів до матриці визначається з умови тертя:

$$N_{\Sigma} = \frac{F_t}{\mu} = \frac{5138,3}{0,32} = 16057,2 \text{ Н} \quad (3.22)$$

де N_{Σ} - сумарна нормальна сила притиску роликів до матриці, Н;

F_t - тангенціальна сила, Н;

μ - коефіцієнт тертя в парі ролик–матриця.

Оскільки в пресувальній камері працюють два ролики, навантаження на один ролик становить:

$$N_r = \frac{N_{\Sigma}}{2} = \frac{16057,2}{2} = 8028,6 \text{ Н} \quad (3.23)$$

де N_r - навантаження на один ролик, Н;

N_{Σ} - сумарна нормальна сила притиску роликів до матриці, Н.

Приймаючи довжину плями контакту ролика з матрицею $l_c = 0,025$ м, визначимо середній контактний тиск:

$$p_k = \frac{N_r}{bl_c} = \frac{8028,6}{0,055 \cdot 0,025} = 5,84 \cdot 10^6 \text{ Па} = 5,84 \text{ МПа} \quad (3.24)$$

де p_k - середній контактний тиск у зоні ролик–матриця, Па;

N_r - навантаження на один ролик, Н;

b - робоча ширина матриці, м;

l_c - довжина плями контакту ролика з матрицею, м.

Для самозахоплення матеріалу роликом необхідно виконання умови:

$$\tan \alpha \leq \mu \quad (3.25)$$

де α - кут захоплення матеріалу роликом;

μ - коефіцієнт тертя в парі ролик–матриця.

Звідси максимально допустимий кут захоплення:

$$\alpha_{max} = \arctan \mu = \arctan 0,32 = 17,74^\circ \quad (3.26)$$

де α_{max} - максимально допустимий кут захоплення матеріалу, град;

μ - коефіцієнт тертя в парі ролик–матриця.

За контактної довжини $l_c = 25$ мм максимально допустима товщина шару продукту перед входом у зазор ролик-матриця становить:

$$h_{max} = l_c \tan \alpha_{max} = 0,025 \cdot 0,32 = 0,008 \text{ м} = 8,0 \text{ мм} \quad (3.27)$$

де h_{max} - максимально допустима товщина шару продукту перед входом у зазор ролик–матриця, м;

l_c - довжина плями контакту ролика з матрицею, м;

α_{max} - максимально допустимий кут захоплення матеріалу.

Отже, розподільні лопаті та живильний вузол повинні формувати шар кондіційованої суміші завтовшки не більше 8 мм. Саме цей параметр є визначальним для забезпечення стійкого захоплення продукту роликами без проковзування.

3.3.5 Міцнісний розрахунок прямої лопаті розподільного вузла

Прямую лопать приймаємо у вигляді консольно закріпленої пластини довжиною $l_v = 70$ мм, висотою $h_v = 20$ мм і товщиною $s = 3$ мм. Для розрахунку приймаємо розрахунковий тиск потоку частково ущільненого матеріалу в зоні розподілу $p_n = 0,01$ МПа. Тоді навантаження на лопать становить:

$$F_n = p_n l_v h_v = 0,01 \cdot 10^6 \cdot 0,07 \cdot 0,02 = 14,0 \text{ Н} \quad (3.28)$$

де F_n - розрахункова сила дії потоку на прямую лопать, Н;

p_n - розрахунковий тиск потоку на лопать, Па;

l_v - довжина лопаті, м;

h_v - висота лопаті, м.

Максимальне напруження вигину в корені лопаті:

$$\sigma_b = \frac{6F_n l_v}{h_v s^2} = \frac{6 \cdot 14,0 \cdot 0,07}{0,02 \cdot 0,003^2} = 3,27 \cdot 10^7 \text{ Па} = 32,7 \text{ МПа} \quad (3.29)$$

де σ_b - максимальне напруження вигину в корені лопаті, Па;

F_n - розрахункова сила дії потоку, Н;

l_v - довжина лопаті, м;

h_v - висота лопаті, м;

s - товщина лопаті, м.

Для лопаті з нержавіючої сталі, у якої допустиме напруження перевищує 160 МПа, запас міцності становить понад 4,9. Отже, запропонований напрямний вузол є працездатним і не потребує додаткового підсилення.

3.3.6 Розрахунок гвинтового механізму встановлення зазору

Для точного регулювання зазору приймаємо гвинтову пару Tr20x2. Середній діаметр різьби $d_2 = 18,7$ мм, крок $p = 2$ мм, внутрішній діаметр $d_3 = 16$ мм, кут профілю різьби $\beta = 30^\circ$. Розрахунок виконуємо для зусилля, що дорівнює реакції одного ролика $F = N_r = 8028,6$ Н.

Кут підйому різьби:

$$\lambda = \arctan \frac{p}{\pi d_2} = \arctan \frac{0,002}{3,1416 \cdot 0,0187} = 1,95^\circ \quad (3.30)$$

де λ - кут підйому різьби, град;

p - крок різьби, м;

d_2 - середній діаметр різьби, м.

З урахуванням коефіцієнта тертя в різьбі $f = 0,15$ еквівалентний кут тертя для трапецієподібної різьби становить:

$$\rho' = \arctan \frac{f}{\cos(\beta/2)} = \arctan \frac{0,15}{\cos 15^\circ} = 8,83^\circ \quad (3.31)$$

де ρ' - еквівалентний кут тертя в різьбі, град;

f - коефіцієнт тертя в різьбі;

β - кут профілю різьби.

Необхідний крутний момент для піднімання навантаження гвинтом:

$$M_r = F \frac{d_2}{2} \tan(\lambda + \rho') = 8028,6 \cdot \frac{0,0187}{2} \tan(1,95^\circ + 8,83^\circ) = 14,29 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.32)$$

де M_r - крутний момент, необхідний для піднімання навантаження гвинтом, Н·м;

F - осьове навантаження на регулювальний гвинт, Н;

d_2 - середній діаметр різьби, м;

λ - кут підйому різьби;

ρ' - кут тертя в різьбі.

За радіуса маховика $R_h = 0,25$ м ручне зусилля на ободі становить:

$$P_h = \frac{M_r}{R_h} = \frac{14,29}{0,25} = 57,2 \text{ Н} \quad (3.33)$$

де P_h - ручне зусилля на ободі маховика, Н;

M_r - крутний момент на гвинті, Н·м;

R_h - радіус маховика, м.

Перевірка напруження стиску в осерді гвинта:

$$\sigma_c = \frac{4F}{\pi d_3^2} = \frac{4 \cdot 8028,6}{3,1416 \cdot 0,016^2} = 39,9 \text{ МПа} \quad (3.34)$$

де σ_c - напруження стиску в осерді гвинта, Па;

F - осьове навантаження на гвинт, Н;

d_3 - внутрішній діаметр різьби, м.

Оскільки кут підйому різьби λ менший за кут тертя ρ' , тобто $1,95^\circ < 8,83^\circ$, гвинтова пара є самогальмівною. Це забезпечує надійну фіксацію встановленого зазору без додаткових стопорних пристроїв.

При використанні маховика на 40 поділок переміщення роликового вузла на одну поділку становить:

$$\Delta = \frac{p}{40} = \frac{2,0}{40} = 0,05 \text{ мм} \quad (3.35)$$

де Δ - переміщення роликового вузла на одну поділку маховика, мм;

p - крок різьби, мм;

40 - кількість поділок на маховику.

Таким чином, гвинтовий механізм дозволяє регулювати зазор ролик-матриця у межах 0,3-0,8 мм з дискретністю 0,05 мм, що є достатнім для практичного налаштування преса під різні рецептури комбікорму.

Отримані результати підтверджують технічну реалізованість запропонованого удосконалення. Регульований живильник забезпечує стабільну подачу продукту в пресувальну камеру, матриця з ущільненим розташуванням отворів збільшує корисну площу пресування, напрямні лопаті формують допустиму товщину шару продукту перед роликами, а гвинтовий механізм дає можливість точно встановлювати

і надійно утримувати зазор ролик-матриця. У сукупності це повинно сприяти підвищенню стабільності процесу гранулювання, зменшенню ймовірності проковзування роликів і покращенню якості готових гранул.

3.4 Висновки до розділу

У розділі проаналізовано основні конструкції пресів-грануляторів: шнекові, шестеренні, з пласкою матрицею та з кільцевою матрицею. Встановлено, що шнекові і шестеренні машини мають обмежені можливості для стабільного промислового виробництва комбікормів, а пласкоматричні преси, попри конструктивну простоту, поступаються кільцево-матричним за придатністю до безперервної роботи у продуктивних лініях.

Обґрунтовано доцільність використання преса-гранулятора з кільцевою матрицею як базової машини для модернізації. Його перевагами є висока продуктивність, краща інтеграція з кондиціонуванням, зручність регулювання роликів і придатність до автоматизації процесу.

Запропоновано варіант удосконалення, що включає частотно-керований шнековий живильник, розподільний напрямний вузол, механізм точного встановлення зазору ролик - матриця та матрицю з ущільненим розміщенням отворів. Розрахунками встановлено, що для продуктивності 1,5 т/год потрібна частота обертання живильного шнека близько 151 хв-1, удосконалена матриця повинна містити близько 790-800 отворів діаметром 4 мм, а механізм регулювання має забезпечувати зміну зазору в межах 0,3-0,8 мм з кроком 0,05 мм.

Запропоноване удосконалення є технічно реалізовним і спрямоване на підвищення рівномірності подачі суміші, стабільності процесу гранулювання та якості готового продукту.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні вимоги безпеки при приготуванні комбікормів

Процес приготування комбікормів належить до робіт, під час виконання яких на працівників можуть діяти небезпечні та шкідливі виробничі чинники: рухомі частини машин і механізмів, пил органічного походження, підвищений рівень шуму, електрична енергія, гарячі поверхні обладнання, а також небезпека займання пило-повітряних сумішей. Відповідно до Закону України «Про охорону праці» роботодавець зобов'язаний забезпечити функціонування системи управління охороною праці, створити безпечні умови праці, організувати навчання, інструктажі та контроль за безпечною експлуатацією обладнання.

Усі машини та механізми комбікормового цеху мають використовуватися лише за призначенням і відповідно до технічної документації виробника. Виробниче обладнання повинно бути встановлене так, щоб зменшити ризики для операторів та інших працівників; органи керування мають бути чітко позначені, рухомі частини - захищені огороженнями або блокувальними пристроями, а обслуговування й очищення допускається виконувати тільки після повної зупинки обладнання. Також нормативні вимоги прямо передбачають локалізацію або видалення пилу, пари чи газу біля джерела їх утворення, достатнє освітлення робочих зон і захист працівників від контакту з гарячими поверхнями.

Під час приготування комбікормів особливу увагу слід приділяти пиловій та пожежній безпеці. Правила пожежної безпеки в Україні вимагають утримувати шляхи евакуації вільними, забезпечувати об'єкти первинними засобами пожежогашіння, не допускати захащення виробничих приміщень горючими відходами та дотримуватися встановленого протипожежного режиму. Для комбікормових установок це означає необхідність регулярного прибирання пилу, своєчасного

видалення просипів сировини, контролю нагрівання підшипників, редукторів і електродвигунів, а також заборону використання відкритого вогню у виробничих приміщеннях.

До роботи в комбікормовому цеху допускаються працівники, які пройшли медичний огляд у випадках, передбачених законодавством, навчання та перевірку знань з питань охорони праці, вступний і первинний інструктажі, а для робіт підвищеної небезпеки - спеціальне навчання. Типове положення НПАОП 0.00-4.12-05 визначає обов'язковість системи навчання, інструктажів і перевірки знань з охорони праці для працівників та посадових осіб.

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту відповідно до виявлених ризиків. Для операцій приготування комбікормів це, як правило, спецодяг, спецвзуття, засоби захисту органів дихання від пилу, за потреби - захист органів слуху, а також рукавички й захисні окуляри під час робіт, пов'язаних з очищенням, налагодженням або обслуговуванням обладнання.

Отже, безпечна організація процесу приготування комбікормів базується на поєднанні технічних, організаційних і санітарно-гігієнічних заходів: справному та захищеному обладнанні, навченому персоналі, дієвій вентиляції, застосуванні засобів індивідуального захисту, пожежній профілактиці та суворому дотриманні інструкцій з охорони праці.

4.2 Інструкція з охорони праці для оператора преса-гранулятора

1. Загальні положення

1.1 До роботи оператором преса-гранулятора допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли у встановленому порядку навчання, інструктажі з охорони праці, перевірку знань, а також медичний огляд у випадках, передбачених законодавством.

1.2 Оператор зобов'язаний знати будову гранулятора, принцип його дії, розташування органів керування, порядок пуску та зупинки, вимоги безпечної експлуатації, правила пожежної безпеки, способи надання домедичної допомоги та порядок дій у разі аварії.

1.3 Під час роботи на оператора можуть впливати такі небезпечні та шкідливі чинники: рухомі частини приводу, роликів і матриці, підвищена запиленість повітря, шум, нагріті поверхні кондиціонера й пресувального вузла, електрична напруга, можливість забивання пресувальної зони та викиду продукту.

1.4 Оператор повинен працювати у справному спецодязі, спецвзутті та застосовувати засоби індивідуального захисту відповідно до характеру робіт: респіратор від пилу, захисні окуляри, рукавички, а за потреби - засоби захисту слуху.

2. Вимоги безпеки перед початком роботи

2.1 Одягнути спецодяг і перевірити наявність та справність засобів індивідуального захисту.

2.2 Оглянути робоче місце, прибрати сторонні предмети, перевірити вільність проходів і підходів до аварійних вимикачів та засобів пожежогасіння.

2.3 Перевірити справність гранулятора, живильника, приводу, огорожень, блокувань, сигнальних пристроїв, аспірації, місцевого освітлення та заземлення.

2.4 Переконатися у відсутності сторонніх предметів у бункері, живильному каналі й робочій камері гранулятора.

2.5 Перевірити наявність мастила, справність підшипникових вузлів, відсутність підтікання, ненормального люфту та явних пошкоджень.

2.6 Пробний пуск виконувати тільки після попередження інших працівників і переконання, що ніхто не перебуває в небезпечній зоні.

3. Вимоги безпеки під час роботи

3.1 Працювати лише на справному обладнанні та тільки в режимах, передбачених технічною документацією.

3.2 Подачу продукту в прес виконувати рівномірно, не допускати перевантаження гранулятора та забивання матриці.

3.3 Забороняється знімати огороження, відкривати люки, торкатися рухомих частин, проводити очищення, підтягування кріплень, змащування або інші регулювання під час роботи обладнання.

3.4 Не дозволяється проштовхувати продукт руками або сторонніми предметами в зону живильника, матриці чи роликів.

3.5 Потрібно контролювати роботу аспірації, не допускати накопичення пилю на обладнанні, електродвигунах, кабельних вводах та будівельних конструкціях.

3.6 Оператор зобов'язаний стежити за температурою підшипників, редуктора, двигуна, пресувальної камери, рівнем шуму та вібрації. У разі появи стороннього стуку, запаху горілої ізоляції, диму, іскор, різкого зростання струму двигуна чи заклинювання преса роботу слід негайно припинити.

3.7 У разі використання кондиціонера з підведенням пари необхідно уникати контакту з гарячими поверхнями і місцями можливого виходу пари.

3.8 Під час роботи слід дотримуватися чистоти робочого місця, а просипи продукту прибирати лише безпечними методами після зупинки небезпечних вузлів або поза небезпечною зоною.

4. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

4.1 У разі аварії, заклинювання матриці, руйнування деталей, відмови огорожень або блокувань, появи диму, пожежі чи ураження працівника електричним струмом слід негайно натиснути кнопку аварійної зупинки, відключити гранулятор від джерел енергії та повідомити керівника робіт.

4.2 Забороняється усувати несправності самотійно, якщо це пов'язано з розбиранням електрообладнання, втручанням у захисти чи виконанням робіт, не передбачених посадовими обов'язками.

4.3 У разі пожежі необхідно викликати пожежно-рятувальну службу, застосувати наявні засоби пожежогасіння відповідно до характеру загоряння та організувати евакуацію людей.

4.4 У разі нещасного випадку слід надати потерпілому домедичну допомогу, за потреби викликати екстрену медичну допомогу та зберегти обстановку події, якщо це не створює додаткової небезпеки.

5. Вимоги безпеки після закінчення роботи

5.1 Зупинити подачу продукту, дочекатися повного виходу залишків із пресувальної камери та зупинити гранулятор у встановленій послідовності.

5.2 Відключити обладнання від джерел енергії відповідно до інструкції підприємства.

5.3 Очистити обладнання і робоче місце від залишків продукту та пилу без застосування небезпечних прийомів.

5.4 Провести зовнішній огляд гранулятора, повідомити керівника про виявлені несправності, перегрів, надмірний знос матриці, роликів, ножів або огорожень.

5.5 Зняти та привести в порядок засоби індивідуального захисту, вимити руки, за потреби - виконати санітарну обробку.

4.3 Висновки до розділу

У розділі встановлено, що безпечне приготування комбікормів потребує комплексного врахування механічних, пилових, електричних, термічних і пожежних ризиків. Організація безпечної роботи базується на справності та захищеності обладнання, належному навчанні персоналу, ефективній вентиляції, застосуванні засобів індивідуального захисту та дотриманні встановленого протипожежного режиму.

Розроблена інструкція з охорони праці для оператора преса-гранулятора охоплює вимоги до організації робочого місця, безпечного пуску, ведення процесу, дій у разі аварій та завершення роботи. Її впровадження дає змогу знизити ризик травмування працівників, запобігти аварійним ситуаціям і підвищити загальний рівень безпеки в комбикормовому цеху.

5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА

5.1 Вихідні дані

Метою цього підрозділу є порівняльна економічна оцінка базового пресгранулятора з кільцевою матрицею та удосконаленого варіанта, у конструкцію якого введено регульований шнековий живильник, напрямний розподільний вузол, точніший механізм установа зазору між роликом і матрицею, а також матрицю з ущільненим розташуванням отворів. Порівняння виконують не за абсолютним збільшенням продуктивності, а за впливом удосконалення на експлуатаційні витрати, стабільність роботи та якість готового продукту, як це зроблено у вашому шаблоні.

Базовий варіант характеризується меншими первинними витратами, оскільки використовує стандартний комплект вузлів без додаткових елементів регулювання та стабілізації подачі продукту. Разом із тим у процесі експлуатації така конструкція має вищу ймовірність нерівномірного навантаження на матрицю, підвищене утворення дріб'язку, більші втрати часу на регулювання та менш стабільний вихід кондиційних гранул.

Удосконалений варіант потребує дещо більших капітальних вкладень, але забезпечує рівномірнішу подачу суміші в пресувальну зону, точніше налаштування зазору ролик–матриця та ефективніше використання робочої поверхні матриці. Це знижує питомі витрати електроенергії, зменшує інтенсивність зношування роликів і матриці, скорочує простої та покращує якість готового гранульованого комбікорму. Такий спосіб подачі матеріалу і загальна логіка висновку відповідають консервативному стилю економічного порівняння зі зразка, де акцент зроблено на експлуатаційних витратах і строку окупності, а непрямі переваги не перевантажують основну оцінку.

5.2 Розрахунок показників економічної ефективності

Для оцінки доцільності запропонованого удосконалення проведено порівняння базового та удосконаленого преса-гранулятора з кільцевою матрицею за основними техніко-економічними показниками. За базовий прийнято серійний гранулятор стандартного виконання, а за удосконалений - прес-гранулятор із регульованим шнековим живильником, напрямним розподільним вузлом, удосконаленим механізмом регулювання зазору ролик–матриця та матрицею з ущільненим розміщенням отворів.

Таблиця 5.1 - Показники економічної ефективності розробки

Показники	Базовий варіант	Проектний варіант
Час роботи на добу, год	16	16
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1
Вартість обладнання, грн	486000	534000
Додаткові капітальні вкладення, грн	—	48000
Експлуатаційні витрати, грн/рік	412860	365940
Оплата праці, грн/рік	132000	132000
Ремонт та технічне обслуговування, грн/рік	34020	29280
Амортизація обладнання, грн/рік	48600	53400
Витрати на електроенергію, грн/рік	198240	151260
Вихід кондиційних гранул, %	92,0	95,5
Річна економія експлуатаційних витрат, грн	—	46920
Термін окупності капіталовкладень, роки	—	1,02

Як видно з таблиці, удосконалений прес-гранулятор потребує додаткових капітальних вкладень у розмірі 48 тис. грн, однак у процесі експлуатації забезпечує зниження річних витрат на 46,92 тис. грн. Основний економічний ефект досягається завдяки зменшенню витрат на електроенергію, скороченню витрат на ремонт і технічне обслуговування, а також зниженню витрат готового продукту у вигляді дріб'язку.

Порівняно з базовим варіантом, у проєктному пресі частка дріб'язку зменшується з 8,0 до 4,5 %, а вихід кондиційних гранул зростає з 92,0 до 95,5 %. Це свідчить не лише про технічну, а й про економічну доцільність запропонованого удосконалення.

За прийнятих показників термін окупності додаткових капіталовкладень становить близько 1,02 року, що є прийнятним для обладнання комбікормового виробництва і підтверджує доцільність упровадження модернізованого преса-гранулятора.

5.3 Висновки до розділу

У результаті економічної оцінки встановлено, що впровадження удосконаленого преса-гранулятора з кільцевою матрицею є доцільним. За базового варіанта річні експлуатаційні витрати становлять 412860 грн, тоді як у проєктному варіанті вони знижуються до 365940 грн. Річна економія становить 46920 грн. Незважаючи на додаткові капітальні вкладення в розмірі 48000 грн, строк їх окупності дорівнює лише 1,02 року, що свідчить про економічну ефективність запропонованого удосконалення. Додатковою перевагою є зменшення частки дріб'язку з 8,0 % до 4,5 % та підвищення виходу кондиційних гранул з 92,0 % до 95,5 %, що підтверджує не лише економічну, а й технологічну доцільність впровадження модернізованого гранулятора.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломній роботі обґрунтовано доцільність удосконалення процесу приготування повнораціонних комбікормів шляхом введення операції гранулювання та модернізації преса-гранулятора з кільцевою матрицею.

У результаті аналізу технологій приготування комбікормів і конструкцій пресів-грануляторів встановлено, що найбільш перспективним для виробництва комбікормів для свиней і птиці є використання гранульованої форми продукту та преса-гранулятора з кільцевою матрицею.

Розроблено удосконалену технологічну схему приготування гранульованого повнораціонного комбікорму та визначено склад технічних засобів, що забезпечують продуктивність лінії 1,5 т/год.

Запропоновано удосконалення преса-гранулятора, яке передбачає встановлення регульованого шнекового живильника, розподільного напрямного вузла, механізму точного регулювання зазору ролик–матриця та матриці з ущільненим розміщенням отворів. Проведені розрахунки підтвердили технічну реалізованість запропонованих рішень.

Економічна оцінка показала, що впровадження удосконаленого преса-гранулятора є доцільним: річна економія експлуатаційних витрат становить 46920 грн, а строк окупності додаткових капітальних вкладень - 1,02 року. Це підтверджує технічну, технологічну та економічну ефективність запропонованого удосконалення.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. ДСТУ 2421-94. Комбікорми. Терміни та визначення.
2. FAO. Animal feed and Codex Alimentarius. URL: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/thematic-areas/animal-feed/en/>
3. Єгоров Б.В. Технологія виробництва комбікормів: підручник. Одеса: Друкарський дім, 2011. 448 с.
4. Основи технології комбікормового виробництва: навчальний посібник / Білоцерківський НАУ. URL: https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/1730/1/Osnovy_tekhnolohii_kombikorm.pdf
5. FAO. Feed manufacturing and pelleting process references. URL: <https://www.fao.org/4/x5738e/x5738e0j.htm>
6. ДСТУ EN 17270:2022. Корми для тварин. Методи відбирання проб та аналізування.
7. Feed Strategy. Troubleshooting pelleting operations. URL: https://www.feedstrategy.com/wp-content/uploads/2019/09/6-24_Troubleshooting_pelleting_operations.pdf
8. ANDRITZ. Hammer mills. URL: <https://www.andritz.com/products-en/feed-biofuel/hammer-mills>
9. Bühler. Vertica hammer mill. URL: https://www.buhlergroup.com/global/en/products/vertica_hammer_mill.html
10. ANDRITZ. Counterflow cooler. URL: <https://www.andritz.com/products-en/feed-biofuel/counter-flow-cooler>
11. NC State Extension. Fish feed production: pellet mill vs extrusion. URL: <https://content.ces.ncsu.edu/fish-feed-production-pellet-mill-vs-extrusion>
12. ANDRITZ. Expander HTST conditioning. URL: <https://www.andritz.com/products-en/feed-biofuel/expander-htst-conditioning>

13. Borregaard LignoTech. Pelleting aids and pellet quality references. URL: <https://www.borregaard.com/markets/animal-feed/pelleting/>
14. Bühler. Kubex T pellet mill. URL: https://www.buhlergroup.com/content/buhlergroup/global/en/products/kubex_t_pellet_mill.html
15. Bühler. Kubex 5 series pellet mill. URL: https://www.buhlergroup.com/global/vi/products/pellet_mill_kubex5series.html
16. ANDRITZ. FeedMax G series pellet mills. URL: <https://www.andritz.com/products-en/feed-biofuel/pellet-mills-livestock-feed-and-biofuel>
17. ANDRITZ. Paladin pellet mill brochure. URL: <https://www.andritz.com/resource/blob/19104/b061dd8b902792c7b1c389d49542c30c/fb-paladin-pellet-mill-en-data.pdf>
18. CPM. 3000 Series and CL-3 Laboratory Pellet Mill. URL: <https://www.cpm.net/equipment/pellet-mills/3000-series>
19. Kansas State University. Evaluating Pellet Quality (MF3228).
20. ABC Machinery. Process and Machinery for Setting Up Poultry Feed Plant; 1–2 t/h and 2 t/h feed mill design materials.
21. Iowa Pork Industry Center. Swine Feed Efficiency: Influence of Pelleting.
22. PorkGateway. Does Diet Form (Pellet vs Meal) Affect Optimum Particle Size of Corn for Finishing Pigs?
23. Massuquetto A. et al. Effect of pelleting and different feeding programs on growth performance of broilers.
24. Feed Strategy / Campabadal C. Steam generation, control, and quality for feed manufacturing.
25. Aremu A. K., Kadiri O. A. Design, fabrication and evaluation of a screw type pelletizer with an interchangeable auger. Indian Journal of Engineering. 2023. Vol. 20(53).

26. Theoretical justification of the feed preparation technology by the gear pelletizer.
Наукова публікація з проблематики шестеренного гранулятора.
27. AMANDUS KAHL. Pellet Mill. Official product description of flat die pellet mill.
28. Mark Heimann. The Pelleting Process. Engormix / CPM.
29. Watt Global Media. Feed Pelleting Reference Guide. Chapter 4: Die and Roll Design.
30. ANDRITZ. Pellet mills for feed production. Official technical description of FeedMax series.
31. Дудін В.Ю. Технологія виробництва і переробки продукції свинарства: навчальний посібник / М. Повод, О. Бондарська, В. Лихач, С. Жижка, В. Нечмілов та ін. – Київ : Науково-методичний центр ВФПО, 2021. – 360 с.
32. Романюха І.О., Дудін В.Ю. Курсове і дипломне проектування тваринницьких підприємств: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.] / І.О. Романюха, В.Ю. Дудін; за ред. І. Романюхи. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2014. – 418 с.
33. Повод М.Г, Дудін, В.Ю., Шпетний М.Б. Розробка основних засад щодо обґрунтованого визначення розмірів санітарно-захисних зон свиноферм: монографія, Суми, «Сумський національний аграрний університет» 2019. – 96 с., ISBN 978-617-593-059-5
34. Дудін В.Ю. Експериментальні дослідження малогабаритного подрібнювача соковитих кормів/ В.Ю. Дудін, О.С. Гаврильченко, П.С. Височин // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Science and civilization – 2018, Volume 12, January 30 - February 7, 2018.: Sheffield. Science and education LTD – 41-45 p
35. Дудін В.Ю. Формування якості годівлі повнораціонними комбікормами / В.Ю. Дудін, О.С. Гаврильченко, Ю.І. Мудрак, П.І. Черниш // Materiály XIV Mezinárodní vědecko - praktická konference «Moderní vymoženosti vědy - 2018», Volume 8 : Praha. Publishing House «Education and Science» - S. 48-53.
36. Дудін В.Ю. Дослідження енергетичних характеристик процесу змішування си-
пких кормів/ В.Ю. Дудін, Я.О. Муха, О.Ю. Лук'яненко // Materials of the XIII International

scientific and practical Conference Conduct of modern science - 2018 , November 30 - December 7, 2018. Construction and architecture. Agriculture. Modern information technology.: Sheffield. Science and education LTD – 41-45 p.

ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

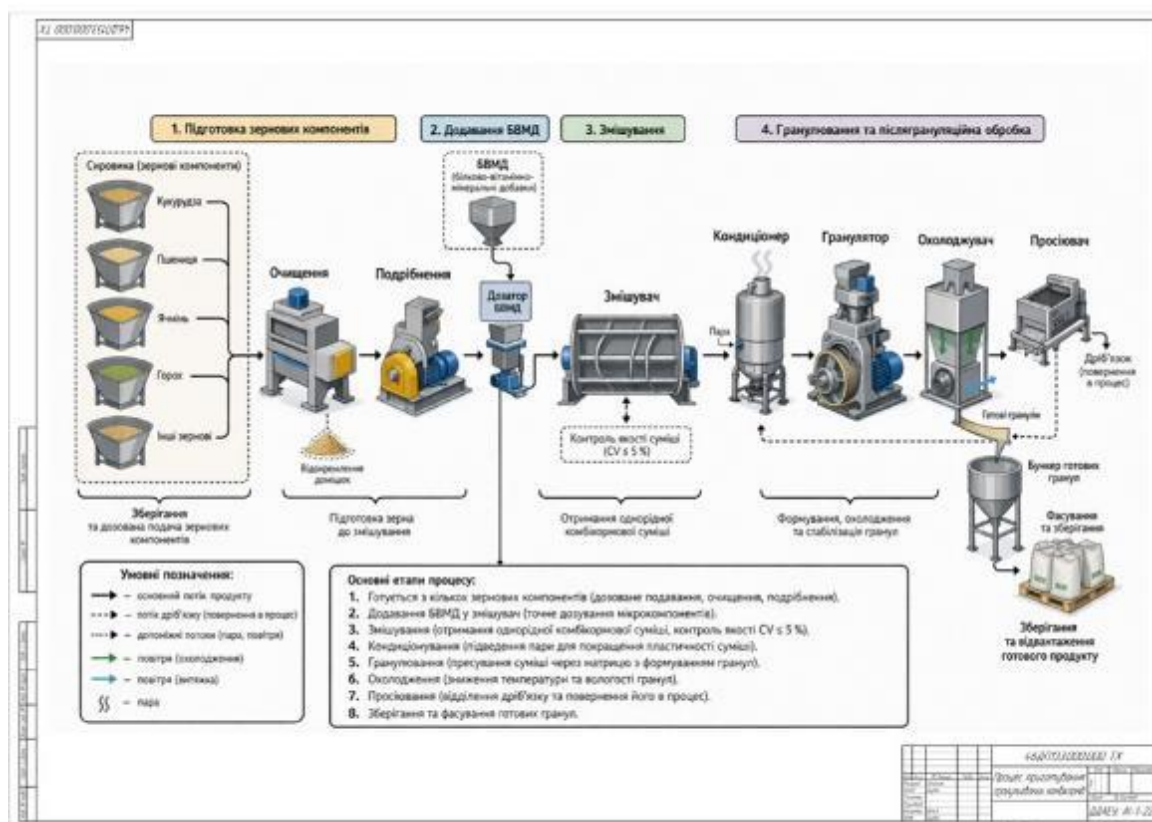
Реконструкція процесу приготування комбікорму з удосконаленням преса-гранулятора

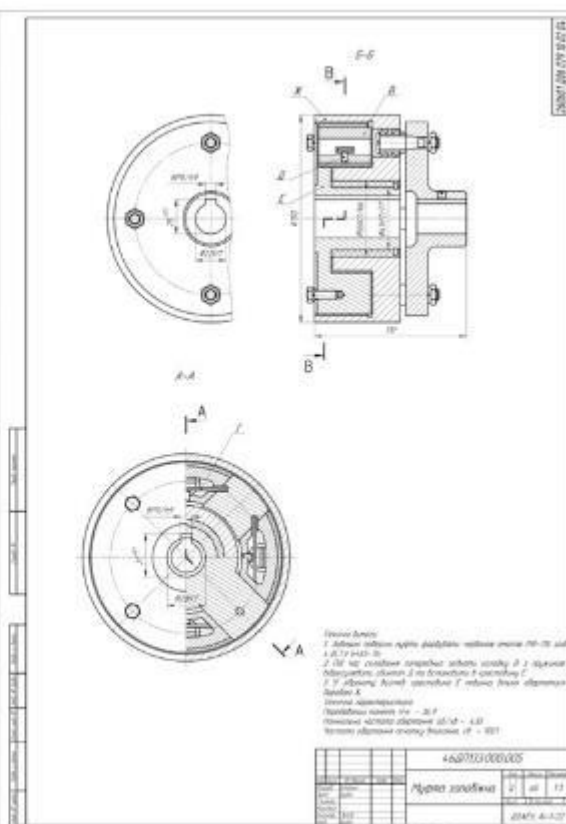
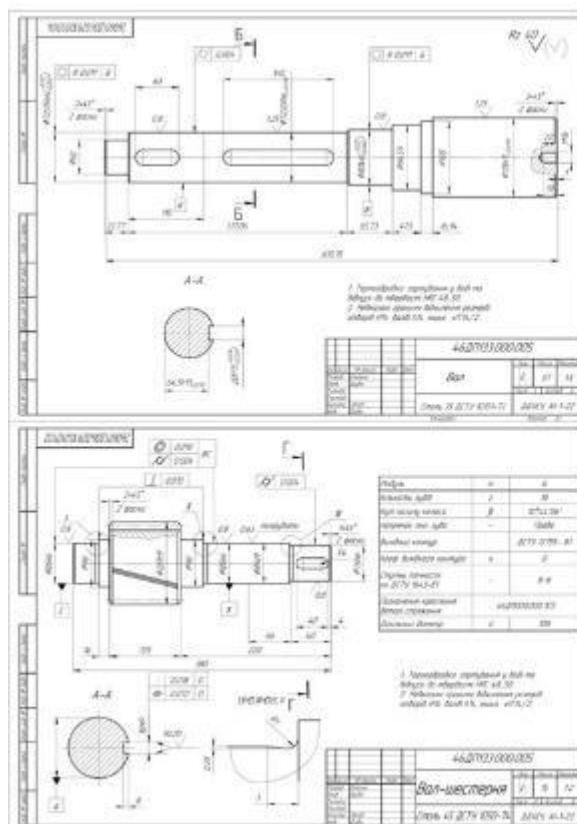
демонстраційний матеріал до дипломного проєкту рівня вищої освіти «Бакалавр»

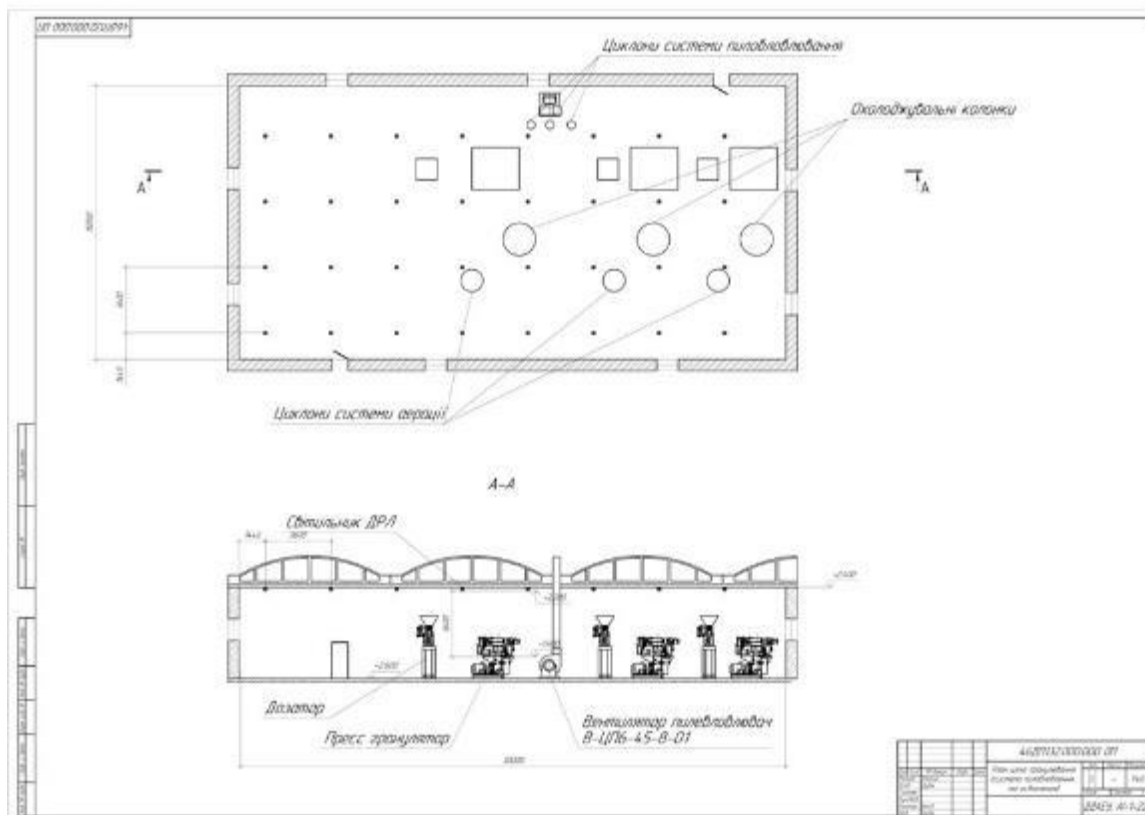
Виконав: студент 4 курсу, групи АІ-1-22
Олійник Дмитро Миколайович

Керівник: к.т.н., доцент
Дудін Володимир Юрійович

Дніпро-2026







Показники	Базовий варіант	Проектний варіант
Час роботи на добу, год	16	16
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1
Вартість обладнання, грн	486000	534000
Додаткові капітальні вкладення, грн	-	48000
Експлуатаційні витрати, грн/рік	412860	365940
Оплата праці, грн/рік	132000	132000
Ремонт та технічне обслуговування, грн/рік	34020	29280
Амортизація обладнання, грн/рік	48600	53400
Витрати на електроенергію, грн/рік	198240	151260
Вихід кондиційних гранул, %	92,0	95,5
Річна економія експлуатаційних витрат, грн	-	46920
Термін окупності капіталовкладень, роки	-	1,02

4687012.000000.00.01	
Назва об'єкта	Об'єкт
Масштаб	1:100
Дата	2023.01.12

Назва примен	Поз. об'єкта-чення	Наименование	Кол.	Примечание					
	1	Змішувач	1						
	2	Живильник	1						
	3	Варіатор	1						
	4	Регулятор швидкості	1						
	5	Обмежувач регулятора швидкості	1						
	6	Апарат командний (блок-реле)	1						
	7	Орган ручного керування	1						
	8	Амперметр контактний	1						
	9	Трансформатор струму ТК-20	1						
Стор. №	10	Задатчик амперметра ручний	1						
Підп. і дата									
Інв. № відб.									
Взам. інв. №									
Підп. і дата									
Інв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	46ДП133.000.000 ЕХ	Лист	Лист	Листов
	Разраб.	Олійник					л		1
	Проб.	Дудін							
	Руковод.								
	Н.контр.	Юлець							
	Утв.	Дудін				Схема електрична	ДДАЕУ, АІ-1-22		

Формат		Зона	Пол	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
					Документация		
A1				46ДП133.001.000СК			
					Сборочные единицы		
		1		46ДП133.001.001	Редуктор	1	
		2		46ДП133.001.002	Рама	1	
		3		46ДП133.001.003	Планшайба	1	
		4		46ДП133.001.004	Вимикач	1	
		5		46ДП133.001.005	Матриця	1	
		6		46ДП133.001.006	Хомут	1	
		7		46ДП133.001.007	Конус	1	
		8		46ДП133.001.008	Дверка	1	
		9		46ДП133.001.009	Ніж	2	
		10		46ДП133.001.010	Маховик	2	
		11		46ДП133.001.011	Лючок	2	
		12		46ДП133.001.012	Маслорозпилювач	1	
					Детали		
		13		46ДП133.001.013	Вісь центральна	1	
		14		46ДП133.001.014	Гайка	1	
		15		46ДП133.001.015	Штифт запобіжний	4	
		16		46ДП133.001.017	Сектор	2	
		17		46ДП133.001.018	Гвинт	2	
		18		46ДП133.001.019	Важіль	1	
		19		46ДП133.001.020	Скребок	1	
					</		

[illegible]